

Tero Vähäsarja

**Biokaasulaitoksen sähkö-ja automaatiojärjestelmien
dokumentoinnin päivitys**

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Centria ammattikorkeakoulu, Ylivieskan yksikkö	Aika Toukokuu 2014	Tekijä/tekijät Tero Vähäsarja
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi Biokaasulaitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien dokumentoinnin päivitys		
Työn ohjaaja Hannu Puomio		Sivumäärä 47
Työelämäohjaaja Steve Malinen		
<p>Työn tilaajana oli Haapajärven ammattioppilaitos. Työ toteutettiin ammattiopiston omistamaan biokaasulaitokseen. Opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää biokaasulaitoksen sähkötekniinen dokumentaatio.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä biokaasulaitoksen prosessiin. Prosessitietämyksen pohjalta oli helpompi kartoittaa tehdyt ratkaisut sähkö- ja automaatiojärjestelmissä. Havaittujen muutosten pohjalta laadin biokaasulaitokselle uuden dokumentaation.</p> <p>Työssä tarkastelin lisäksi ohjelmoitavia logiikoita, etenkin Phoenix Contactin Inline sarjaa sekä InterBus –kenttäväyläteknikkaa. Työssä kerroin myös yleisesti biokaasusta sekä sen tuotannosta.</p>		
Asiasanat Biokaasu, automaatio, ohjelmoitava logiikka, Phoenix Contact, InterBus		

ABSTRACT

Unit Centria University of Applied Sciences, Ylivieska unit	Date May 2014	Author/s Tero Vähäsarja
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Biogas plant's electrical and automation systems documentation update		
Instructor Hannu Puomio		Pages 47
Supervisor Steve Malinen		
<p>This thesis was commissioned by Haapajärvi vocational college. The work carried out at College-owned biogas plant. Purpose of this thesis was to update the biogas plant's electrical-technical documentation.</p> <p>The work was begun by gathering information from process of a biogas plant. With the knowledge about the process it was easier to identify the solutions on the electrical and automation systems. I drafted a new documentation on the basis of the observed changes.</p> <p>In this thesis i examined a programmable logic controllers, especially from Phoenix Contact Inline series with the Interbus fieldbus technology. I also told commonly about biogas, as well as its production.</p>		
Key words Biogas, automation, programmable logic controller, Phoenix Contact, Interbus		

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	HAAPAJÄRVEN AMMATTIOPISTO	2
3	BIOKAASU	4
3.1	Biokaasun tuottaminen	6
3.1.1	Tarvittavat olosuhteet	8
3.1.2	Kaasun muodostuminen ja mikrobit	10
4.1	Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitos	16
4.1.1	Laitosprosessi	17
5	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	20
5.1	Automaatio ja ohjelmoitavat logiikat	20
5.2	Biokaasulaitoksen automaatiojärjestelmä	23
5.3	Phoenix Contact Inline	29
5.3.1	Kontrolleri ja väylämoduulit	30
5.3.2	I/O -yksiköt	31
5.3.3	Virransyöttö	34
5.3.4	InterBus	34
6	SÄHKÖJÄRJESTELMÄ JA MUUTOSTEN SELVITYS	37
6.1	Pääkeskus PK	37
6.2	Prosessikontin ryhmäkeskus RK1	38
6.3	Lisäsyöteyksikön ryhmäkeskus RK2	39
6.4	Jälkimädätysaltaan ryhmäkeskus RK3	40
7	LOPPUTULOSTEN DOKUMENTOINTI	41
8	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA PARANNUSEHDOTUKSIA	44
	LÄHTEET	48

1 JOHDANTO

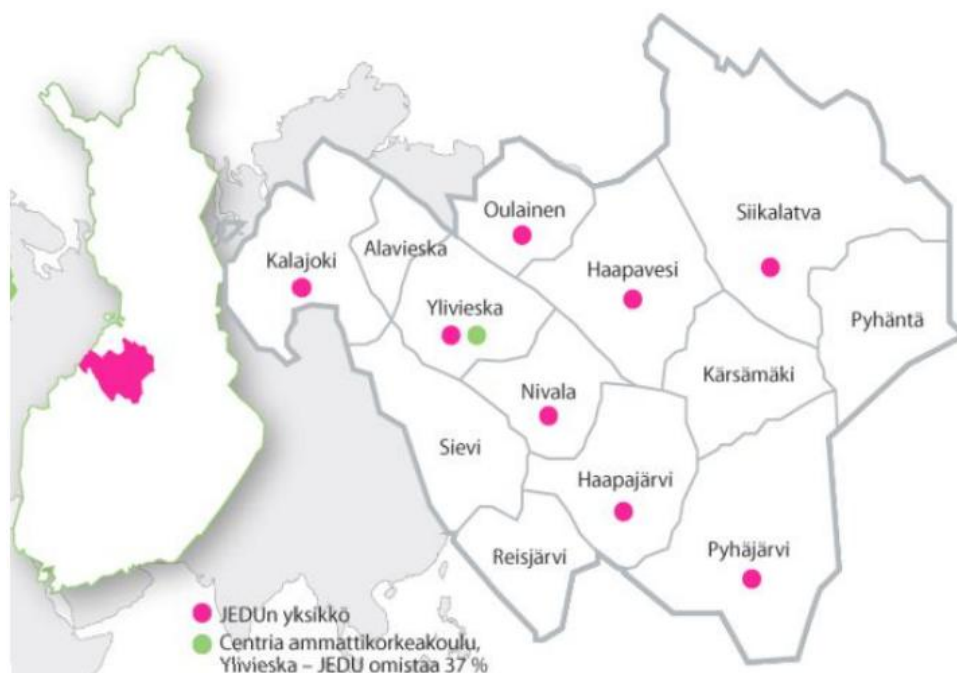
Opinäytetyö tehtiin Haapajärven ammattiopiston tilaamana. Tehtävänäni oli selvittää ammattiopiston biokaasulaitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien nykytila sekä päivittää niiden dokumentaatio vastaamaan nykyistä tilaa. Alkuperäiset dokumentit olivat vuodelta 2007. Koska laitos on pääasiallisesti tutkimuskäytössä, niin laitokseen on muutoksia tehty jo tutkimustenkin vuoksi. Nämä oli jäänyt kirjaamatta ylös tai ne on piirretty kynällä vanhaan kuvaan. Työ rajattiin kattamaan vain biokaasulaitokseen liittyvät järjestelmät pois lukien tankkausasema.

Työn tavoitteena on luoda selvitys biokaasulaitoksen sähköisten järjestelmien nykytilaan sekä selvitysten tuloksena tuottaa paikkansa pitävä dokumentaatio kyseisistä järjestelmistä. Lisäksi insinööriyön tavoitteena on luoda tieto biokaasusta yleisesti, biokaasuntuotannosta sekä automaatiosta, erityisesti biokaasulaitoksella käytetyistä logiikkaratkaisuista. Tilaajan puolelta tärkeimmäksi priorisoitiin logiikoiden tilanteiden selvitys sekä I/O- luettelon päivittäminen.

2 HAAPAJÄRVEN AMMATTIOPISTO

Haapajärven ammattiopisto on Haapäjärvellä sijaitseva kahteen opiskeluyksikköön jakautunut ammatillinen oppilaitos. Haapajärven ammattiopisto on erikoistunut maatalous- ja metsäalan opetukseen, lisäksi Haapajärven ammattiopiston liiketalouden yksikkö tarjoaa liiketalouden-, tieto- ja tietoliikennetekniikan koulutusohjelmia. Opiskelijoita Haapajärven ammattiopistolla on ollut vuosittain reilu 300, jotka ovat jakautuneet suunnilleen puoliksi molempien toimipisteiden kesken. HAI työllistää henkilökuntaa noin 60. Maa- ja metsätalousyksikön opetusnavetassa on lypsykarjaa noin 47 sekä lisäksi nuorkarjaa. Peltopinta-alaa on 78 ha ja metsää 320 ha. (Ilkka Heinonen 2010)

Haapajärven ammattiopisto on osa vuonna 2012 perustettua Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä JEDU:a. Alla olevasta kuvasta nähdään koulutuskuntayhtymään kuuluvat koulutustoimipisteet. Kuten kuvioon 1 on merkitty JEDU omistaa myös osuuden Centria-ammattikorkeakoulusta, ja JEDU toimii muutenkin läheisessä yhteistyössä ammattikorkeakoulun kanssa.



Kuvio 1. JEDUN jäsenkunnat ja koulutustoimipisteet(JEDU 2014)

Haapajärven ammattiopiston maa- ja metsätalousyksikössä toteutetaan myös paljon bioenergiaan liittyviä tutkimushankkeita. Oppilaitoksella on tutkimuskäytössä vuonna 2007 rakennettu biokaasutuslaitos, jolla tuotetaan lämpöä oppilaitokselle. Vuonna 2012 valmistui oppilaitokselle biokaasun tankkausasema, josta voidaan tankata liikennebiokaasua oppilaitokselle hankittuihin kaasukäyttöisiin henkilöautoon ja traktoriin. Lisäksi koulun alueelle hankittiin puukaasutuslaitteisto vuonna 2013, mutta tätä kirjoittaessani puukaasutuslaitteistoa oltiin vasta käyttöönottamassa. Sekä vuodesta 2005 asti on valmistettu biodieseliä opetusmaatilan pelloilla viljellystä rypsistä. (Ilkka Heinonen 2010)

3 BIOKAASU

Biokaasulla tarkoitetaan kaasuseosta, joka syntyy hapettomassa tilassa orgaanisesta aineksesta bakteerien hajoitustuotteena. Biokaasua muodostuu jatkuvasti luonnossa, etenkin kosteikoissa, vesistöjen pohjakerroksissa ja eläinten suolistvaossa. Tuloksena tästä on biokaasua sekä mädäntynyttä biomassaa, joka soveltuu hyvin lannoitteeksi. Kaatopaikat tuottavat myös suuria määriä kaatopaikkakaasua, joka on kemialliselta koostumukselta hyvin samankaltainen biokaasun kanssa. (Biokaasufoorumi 2014; Biokaasuyhdistys 2014)

Biokaasun raaka-aineeksi kelpaa lähes kaikki biohajoava materiaali, pois lukien puu ja paperi, joista ei ole poistettu ligniiniä. Ligniini tekee puusta todella hitaasti hajoavaa. Erityisesti hyviä materiaaleja ovat: maatalousjätteet, jätevedenpuhdistamon prosessilietteet, yhdyskuntien kiinteät biojätteet, elintarviketeollisuuden jätteet, eräät prosessiteollisuuden jätteet, energiakasvit ja biomassat. Alla olevassa taulukossa 1 on lueteltu muutamista raaka-aineista saatavia kaasumääriä. Nämä tietysti ovat vain suuntaa-antavia, sillä todellinen kaasumäärä riippuu laitoksesta ja vallitsevista olosuhteista. (Bioste 2014)

TAULUKKO 1. Raakaaineiden tuottama kaasumäärä kuutioina metaania märkäpainotonna raaka-ainetta kohden (Motiva 2014a)

Materiaali	Metaania m ³	Kaasun metaanipitoisuus til. %
Teurasjäte	250	70
Biojäte	150 - 250	65
Kasvibiomassa	50 - 250	55
Sian lanta	25 - 35	65
Naudanlanta	15 - 25	60

Biokaasu on väritön, hieman ilmaa kevyempi kaasuseos. Biokaasu koostuu tavallisesti pääosin metaanista ja hiilidioksidista. Lisäksi yhdisteessä esiintyy pienempinä pitoisuuksina muitakin kaasuja, mutta näiden osuus jää tavallisesti alle yhdestä viiteen prosenttiin. Muita esiintyviä kaasuja ovat esimerkiksi typpi, vety, rikkivety ja vesihöyry, joista kaksi viimeistä ovat ei toivottuja syövyttävien vaikutustensa vuoksi. Rikkivety on lisäksi myös myrkyllistä. Kaasun koostumus vaihtelee voimakkaasti käytettävien raaka-aineiden mukaan, joten taulukossa esitetyille arvoille on annettu suuri vaihtelualue. Kaatopaikkakaasu on koostumukseltaan lähes biokaasua vastaavaa, mutta erojakin löytyy. Kaatopaikkakaasun typpi ja happi määrät ovat merkittävästi suurempia sekä lisäksi kaatopaikkakaasu sisältää monia epäpuhtauksia kuten silikseaneja, rikkioksidia ja halogeeniyhdisteitä, kuten fluori-, kloori- ja bromiyhdisteitä.

TAULUKKO 2. Biokaasun koostumus (Markku Raimovaara 2004)

Yhdiste	Pitoisuus %
Metaani, CH ₄	55 – 75
Hiilidioksidi, CO ₂	25 – 45
Hiilimonoksidi, CO	0 - 0,3
Typpi, N ₂	1 – 5
Vety, H ₂	0 – 3
Rikkivety, H ₂ S	0,1 - 0,5

Biokaasun energiasisältö muodostuu lähinnä sen sisältämästä metaanista. Puhtaan metaanin energiasisältö on 50 MJ/kg eli 36 MJ/n-m³, eli 10 kWh/n-m³, joka on varsin kilpailukykyinen ja tämä ilmenee taulukosta 3. Kuutio puhdasta metaania vastaa noin litraa polttoöljyä. Metaanin osuus biokaasusta on 55 – 70 %, mikä laskee biokaasun lämpöarvon välille 14,4-21,6 MJ/n-m³, joka vastaa 4,4-7,4 kWh/ n-m³.(lähde motiva 2014b)

TAULUKKO 3. Polttoaineiden lämpöarvoja

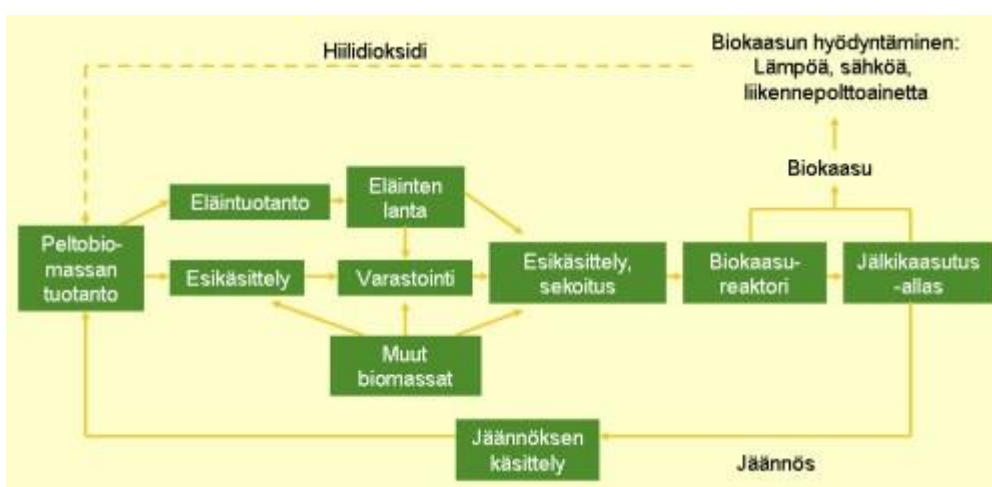
Polttoaine	Lämpöarvo
vety	120,1 MJ/kg
kevyt polttoöljy	42,7 MJ/kg
raskas polttoöljy	40,6 MJ/kg
kivihiili	27,0 MJ/kg
turve	21,0 MJ/kg
maakaasu/metaani	50,0 MJ/kg
propaani	46,0 MJ/kg
benssiini	44,0 MJ/kg
etanoli	26,7 MJ/kg
metanoli	19,5 MJ/kg
biokaasu	20-30 MJ/kg

Tästä voimme päätellä biokaasun olevan varteen otettava polttoaine. Lisäksi biokaasu on ympäristöystävällinen vaihtoehto, sillä reaktorissa tuotettu kaasu ei sinänsä tuota hiilidioksidipäästöjä. Suurin ympäristöhyöty saavutetaan siinä, että kerätään talteen joko kaatopaikalta, jätevedenpuhdistamoilla tai reaktoriin sijoitetun biomassan metaanipäästöt ja nämä jalostetaan polttoaineeksi. Metaani ilmakehään päästessään on 20-70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Tämän vuoksi etenkin kaatopaikkakaasun kerääminen on erittäin perusteltua, koska saatu energia on niin sanotusti ilmaista ja samalla suojellaan ympäristöä.(motiva 2014a)

3.1 Biokaasun tuottaminen

Biokaasun tuotannossa on hyvin erilaisia mädätysprosesseja, mutta tarkastellessani biokaasun tuotantoprosessia käytän esimerkkinä maatilakohtaista biokaasulaitosta, koska opinnäytekohteeni oli maatilakohtainen laitos. Kaasulaitos sijoitetaan navetan ja

lietekaivon välittömään läheisyyteen, sillä kyseisessä käytössä pääraaka-aineena toimii lehmien lanta. Useimmiten tällaisissa kokonaisuuksissa on käytössä jatkuvatoiminen reaktori, jolloin lanta pumpataan suoraan reaktoriin ja reaktorista ylijäämä suoraan lietekaivoon tai mahdollisen jälkimädätysaltaan kautta. Maatiloilla on käytössä myös niin kutsuttua yhteismädätystä, eli reaktoriin syötetään lannan lisäksi myös biomassaa. Lopputuloksena reaktorista saadaan raakabiokaasua ja ylijäämalietettä, joka pumpataan joko suoraan lietekaivoon tai se johdetaan ensin jälkimädätysaltaaseen. Jäännös käytetään peltojen lannoittamiseen.



KUVIO 2. Maatilan biokaasuprosessin kiertokulku (Biokaasufoorumi 2014)

Kaasun tuotantoprosessit voidaan jakaa lämpötilan mukaan psykrofiiliseksi, mesofiiliseksi ja termofiiliseksi ja kuiva-ainepitoisuuden mukaan märkä- ja kuivamädätykseen. Anaerobista hajoamista tapahtuu välillä 0-75 °C, josta väliä 0-15 °C kutsutaan psykrofiiliseksi, väliä 15-45 °C mesofiiliseksi ja väliä 45 - 75 °C termofiiliseksi. Jokaisella lämpötila alueella toimii eri bakteerikanta. Kuivamädätys on hieman harhaanjohtava nimitys, koska syöte ei voi olla kovinkaan kuivaa. Syötteen kuiva-ainepitoisuus voi maksimissaan olla 50 %, sillä bakteerit tarvitsevat vähitään puolet vettä voidakseen ja toimiakseen hyvin. Yleisesti käytetään termiä märkämädätys alle 15 % syöttettä käytettäessä ja kuivamädätys käytettäessä 20-50 % kuiva-ainepitoisuuden omaavaa syöttettä. Matalakiintoaineista mädätystä käytetään yleensä jätevesilietteiden ja lietelantojen käsittelyyn, tämän prosessin etuina pidetään prosessin vakautta ja helppoa hallittavuutta.

Haittoja ovat suuri tilan- ja lämmityksen tarve ja näistä aiheutuvat suuret kustannukset. Korkeamilla kuiva-ainepitoisuuksilla voidaan nostaa reaktorin kuomitusastetta ja täten samassa suhteessa reaktorin kokoa pienentää. Esimerkiksi 30 % kuiva-ainepitoisella syötteellä toimiva reaktori on tilavuudeltaan kolmasosan verrattuna 10 % kuiva-ainepitoista syötettä käyttävästä reaktorista. Tästä seuraavat pienemmät rakennus- ja lämmityskustannukset. Korkealla kiintoainepitoisuudella toimiva prosessi on yleensä epävakampi ja siksi vaikeampi hallita kuin matalakiintoaineisempi prosessi. (Markku Raimovaara 2004)

3.1.1 Tarvittavat olosuhteet

Biokaasun tuotannon olosuhteet on oltava kaikilta osin kunnossa, muutoin prosessi ei käynnisty tai se pysähtyy. Prosessin käynnistymisen ja käymisen kannalta merkittävät olosuhdetekijöitä ovat lämpötila, lämpötilaan sopiva bakteerikanta, reaktoriin sopiva kuiva-ainepitoisuus, pH -arvo ja inhiboivien aineiden välttäminen. Ehdoton edellytys on hapettomat olosuhteet, sillä happi on metaania muodostaville mikrobeille myrkyä. Kaasutilaan on mahdollista syöttää pieniä määriä happea rikin hapettamiseksi. Ongelmia tästä ei synny, mikäli määrät ovat niin pieniä, että rikkiä hapettavat bakteerit kykenevät käyttämään kaiken syötetyn hapen. (Motiva 2014a)

Biokaasua voidaan tuottaa hyvin laajalla lämpötila alueella, joka ulottuu lähes nollasta celsiusasteesta 75 celsiusasteeseen. Lämpötilalla on hyvin suuri vaikutus kaasun tuotantoon. Kuten lähes kaikissa biologisissa ja kemiallisissa reaktioissa lämpötilan nosto nopeuttaa prosessia, niin on myös biokaasun tuotannossa. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä pienempi on viipymäaika ja tehokkaampi kaasuntuotanto. Matalassa lämpötilassa tapahtuvaa psykoofiilistä mädätystapaa käytetään lähinnä lämpimissä maissa todella suurissa lietealtassa, eli niin kutsutuissa laguunireaktoreissa. Tämän tyyppinen mädätys on todella hidasta. Viipymäaika on useita viikkoja, yleisesti noin 60 vuorokautta. Psykoofiilisen mädätyksen kaasuntutto on vähäistä. Samasta raaka-aine määrästä saadaan mesofiilillä mädätyksellä noin puolet enemmän biokaasua. Hyvinä puolina psykoofiilisessä mädätyksessä pidetään sitä, että se on todella vakaa prosessi ja se ei lämpimissä maissa tarvitse ulkopuolista lämmitystä lainkaan.

Yli puolet Euroopassa sijaitsevista biokaasuprosesseista toimii lämpötila-alueella 15-45 °C, jota kutsutaan mesofiiliseksi. Mesofiilisen mädätyksen optimaalisimpana lämpötila-alueena pidetään 33-37 °C. Viipymääjat ovat mesofiilisessa prosessissa yli puolet lyhyempiä kuin psykoofiilisessa, noin 20-30 vuorokautta. Mesofiilinen kaasuntuottoprosessi on helppo pitää vakaana sekä kaasun muodostuminen prosessissa on hyvää. Teknitaloudellisesti mesofiilinen prosessi on useinmiten kannattavin ratkaisu. Reaktorin koko on vielä useinmiten kohtuullinen ja lämmitystarvekaan ei nouse kovin suureksi.

Termofiilisen mädätyksen lämpötila-alue alkaa lämpötilasta 50 °C ja yltää noin 75 °C lämpötilaan, jonka jälkeen asetaatti ei enää muutu metaaniksi. Termofiilisessa prosessissa hajoaminen vie vain noin puolesta kahteen kolmasosaan siitä ajasta kuin mesofiilisessa prosessissa. Tämä tarkoittaa sitä, että reaktorissa voidaan käsitellä samassa ajassa vastaavassa suhteessa enemmän syötettä tai reaktorin tilavuus voidaan pudottaa puoleen tai kahteen kolmasosaan. Viipymääjat ovat noin 10-18 vuorokautta. Termofiilisen mädätyksen kaasun muodostuminen on näistä kolmesta suurinta ja nopeinta, mutta myös epävakainta. Etenkin 60°C jälkeen prosessi menee todella epävakaaaksi ja herkäksi häiriöille, siksi optimaalisimpana alueena pidetään 55-60 °C. Termofiilisen prosessin korkeamman toimintalämpötilan vuoksi energiankulutus on huomattavasti suurempi, koska lämpötilan noustessa lämpöhäviö ympäristöön kasvaa eksponentiaalisesti. Lähes kaikki mädätettävän materiaalin lämmittämiseen tarvittavasta energiasta on tuotava ulkoisesta lähteestä, sillä vain noin 3 % mädätettävän materiaalin energiasisällöstä muuttuu lämmöksi. (Motiva 2014a, Markku Raimovaara 2004)

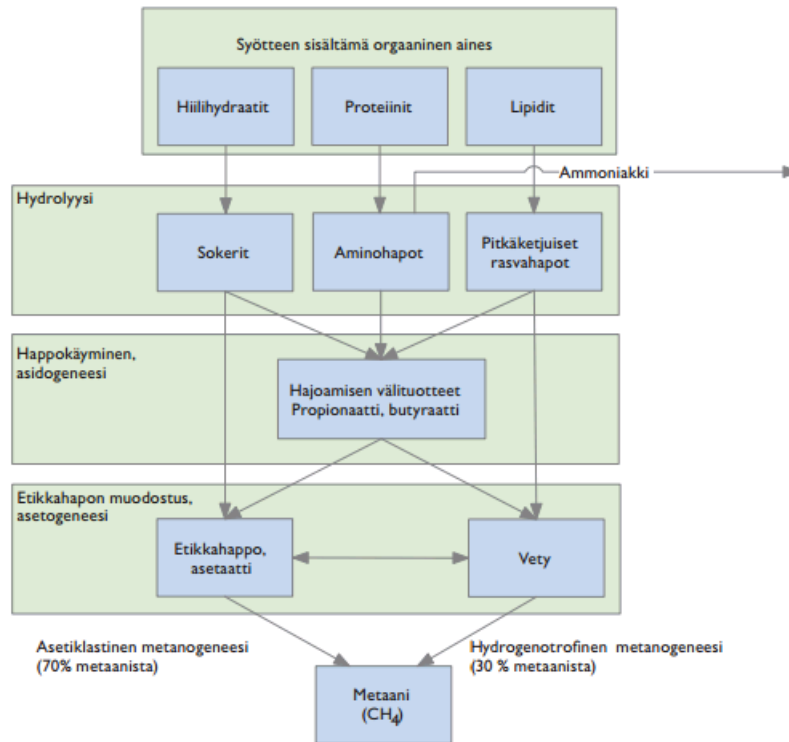
Eri kaasuntuotantovaiheisiin osallistuvat bakteerit viihtyvät eri pH -alueella. Prosessin loppuvaiheessa vaikuttavat metanogeeniset bakteerit tarvitsevat neutraalin ympäristön. Jo pienikin poikkeama vaikuttaa niiden tuotantoon. Etenkin matalalla pH -alueella niiden metabolia heikkenee voimakkaasti. Vastaavasti prosessin alkuvaiheen hydrolyysiin osallistuvat bakteerit viihtyisivät paremmin happamissa oloissa, pH -alueella 4,5 - 6,3. Ne toimivat kuitenkin myös neutraalilla alueella, mutta hieman heikommin. Tutkitusti koko prosessin kannalta optimaallisin pH-alue on 6 - 8, tuolloin tuotanto on tehokkainta. Prosessin käydessä normaalisti pysyy pH-arvo suhteellisen tasaisena, yleensä 7 - 8 välissä.

pH-arvo saattaa kuitenkin laskea hyvinkin voimakkaasti mikäli reaktoriin syötetään liikaa raaka-ainetta. Tuolloin metaania muodostavat bakteerit eivät ehdi käyttää kaikkea happoa, jota prosessin alkuvaiheen hapontuottobakteerit ovat tuottaneet. Tämä voidaan korjata pysäyttämällä syötteen lisääminen ja antamalla metaania tuottaville bakteereille aikaa tai vaihtoehtoisesti syöttämällä reaktoriin voimakasta emästä kuten natriumhydroksidia. Liian korkea pH-arvo voidaan korjata vastaavasti syöttämällä reaktoriin voimakasta happoa. Biokaasun tuotantoprosessin käynnistäessä pH -arvo saattaa heilahdella todella paljon. Syötettä on lisättävä varovasti, sillä pH -arvon laskiessa liian matalaksi kuolevat metanogeeniset bakteerit, ja koko prosessi pysähtyy. (Motiva 2013; Markus Latvala 2009)

Lisäksi on tarkkailtava, ettei prosessiin pääse liian suuria määriä inhiboivia aineita, eli aineita, jotka hidastavat prosessia tai jopa estävät sen kokonaan. Näitä ovat esimerkiksi antibiootit, desinfiointiaineet, raskasmetallit, suolat, kasvimyrkyt sekä myös osa prosessiin osallistuvien bakteerien aineenvaihduntatuotteista, kuten ammoniakki, rikkivety ja rasvahapot. Osa edellä luetelluista on haitallista jo pieninä määrinä. Osa on pieninä määrinä on prosessille hyödyllistä, mutta suurempina määrinä inhiboivia. Näitä ovat esimerkiksi sinkki, kupari, magnesium ja ammoniakki. (Motiva 2013; Markku Raimovaara 2004)

3.1.2 Kaasun muodostuminen ja mikrobit

Biokaasun muodostuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen, joista kussakin mädätysprosessin vaiheessa toimii oma mikrobiryhmänsä. Vaiheet ovat liukoistuminen (hydrolyysi), happokäyminen (asidogeneesi), etikkahappokäyminen (asetogeneesi) ja metaanikäyminen (metanogeneesi). (Motiva 2013; Markku Raimovaara 2004)



KUVIO 3. Syötteen hajoamisprosessi anaerobisten bakteerien toimesta.(Latvala2009)

Liukoistumisvaiheessa eli hydrolyysissä syötteen sisältämät energiaravintoaineet, hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat, pilkkoutuvat yksinkertaisempaan muotoon ja liukenevat veteen. Valkuaisaineet eli proteiinit pilkkoutuvat aminohapoiksi, hiilihydraatit sokereiksi ja rasvat pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Lisäksi muodostuu vetyä ja vettä. Pilkkoutuminen tapahtuu sellulolyyttisten, proteolyyttisten ja lipolyyttisten bakteerin erittämien entsyymien vaikutuksesta. (Motiva 2013; Ari Lampinen 2004)

Happokäymisvaiheessa fermentatiiviset bakteerit hajoittavat ja absorboivat edellisen vaiheen yhdisteitä soluihinsa. Solussa yhdisteet fermentoituvat ja hydrolysoituvat muodostaen energiaa solun tarpeisiin. Solujen aineenvaihduntatuotteina muodostuu haihtuvia rasvahappoja, hiilidioksidia, vetyä sekä mahdollisesti alkoholeja. Prosessissa muodostuu myös ammoniakkia, rikkivetyä, hiilidioksidia sekä asetaattia. Kolmannessa vaiheessa asetogeeniset bakteerit pilkkovat edellisessä vaiheessa tuotetut voihapot, propionihapot ja alkoholit etikkahapoksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. (Ari Lampinen 2004)

Neljännessä ja viimeisessä vaiheessa metanogeenisten bakteerien vaikutuksesta tapahtuu asetiklastinen- ja hydrogenotrofinen metanogeneesi, eli metanogeeniset arkkibakteerit käyttävät prosessissa syntyneet etikkahapot, vedyn ja osan hiilidioksidista ravinnokseen ja tuottavat aineenvaihduntatuotteina metaania ja vettä. Kaikkien vaiheiden on toimittava samaa tahtia, muuten prosessiin saattaa kertyä liian suuria määriä toisia vaiheita häiritseviä aineita. Esimerkiksi viimeisen vaiheen metanogeenisten bakteerien tulee pystyä käyttämään kaikki prosessissa syntynyt vety, sillä vety haittaa kolmannen vaiheen asetogeenisten bakteerien toimintaa. (Motiva 2013; Markus Latvala 2009)

CH_3COOH	-->	CH_4	+	CO_2
Etikkahappo		Metaani		Hiilidioksidi
$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	+	CO_2	-->	CH_4 + $2\text{CH}_3\text{COOH}$
Etanoli		Hiilidioksidi		Metaani Etikkahappo
CO_2	+	4H_2	-->	CH_4 + $2\text{H}_2\text{O}$
Hiilidioksidi		Vety		Metaani Vesi

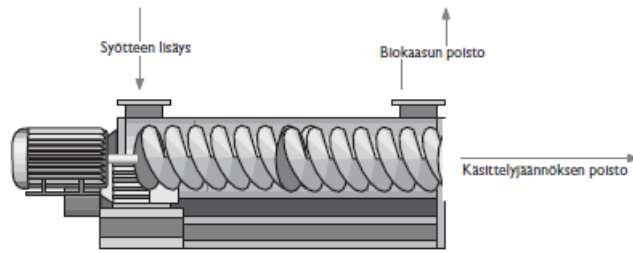
KUVIO 4. Prosessin loppuvaiheen metaania muodostavat reaktiot (Markku Raimovaara 2004)

4 BIOKAASULAITOKSEN KESKEISET KOMPONENTIT

Biokaasulaitoksen ehdottomasti keskeisin komponentti on reaktori. Tärkeitä ovat reaktoriin liittyvät yksiköt, kuten reaktorin lämmitys. Reaktorit voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään. Ryhmät ovat panosyöttöreaktorit, jatkuvatoimiset reaktorit ja näiden yhdistelmät Fed-batch -reaktorit. Näistä on omat muunnelmat eri syötteille ja mädätysprosesseille.

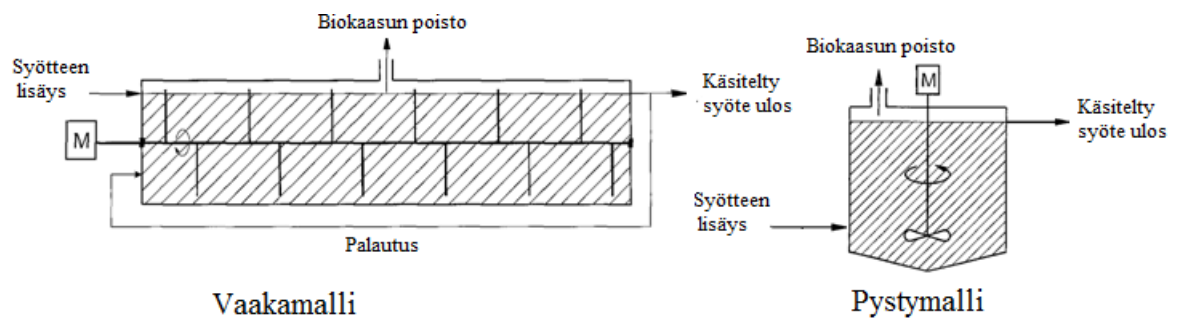
Panosreaktoriin syöte lisätään ja poistetaan nimensä mukaisesti yhdellä kerralla. Tällaiseen reaktoriin on joko jätettävä vanhan erän syötettä tai lisättävä erillistä ymppeä, jotta saadaan prosessin vaatima anaerobisten bakteerien kanta. Panosreaktoreiden hyvänä puolena pidetään niiden helppohoitoisuutta sekä edullisia rakennus ja käyttökustannuksia. Reaktori ei aiheuta juuri muuta työllistävää vaikutusta kuin tyhjennyksen ja täytön, joka tapahtuu yleensä 4-6 viikon erissä. Haittoina pidetään panosreaktorin kaasuntuotannon epätasaisuutta. Kaaasuntuotanto lähtee hiljaa lisääntymään, mikä vie useita päiviä, ja prosessin loppuvaiheessa kaasun tuotanto hiipuu lopulta loppuen kokonaan.

Selkeästi yleisemmässä käytössä ovat jatkuvatoimiset reaktorit. Jatkuvatoimiset reaktorit perustuvat syötteen jatkuvaan tai tiheään lisäämiseen. Reaktoreissa pidetään syötteen massa vakiona, eli kun reaktoriin syötetään uutta raaka-ainetta, poistetaan saman verran vanhaa. Kun reaktorissa olevan raaka-aineen määrä pidetään vakiona pysyy myös kaasun tuotanto suhteellisen tasaisena. Kaksi yleisintä jatkuvatoimista reaktorityyppiä ovat sekoitettu säiliöreaktori ja tulppavirtausreaktori. Tulppavirtausreaktori on käytössä 15-50 % kiintoainepitoisella syötteellä. Reaktori on putkimainen, jonka toisesta päästä lisätään syöte ja toisesta päästä poistetaan käsitelty syöte. (Markus Latvala 2009)



KUVIO 5. Jatkuvatoiminen tulppavirtausreaktori (Markus Latvala 2009)

Yleisimmin reaktorit ovat on pystymallisia teräksestä tai betonista valmistettuja säiliöitä. Reaktoreihin lisätään syöte reaktorin alaosasta ja biokaasu ja käsiteltyjäänös poistetaan reaktorin yläosasta. On myös olemassa vaakamallisia jatkuvatoimisia märkäprosesireaktoreita. Reaktorin toisesta päästä lisätään syöte ja toisesta päästä poistetaan. Osa käsitellystä syötteestä tulee palauttaa kiertoon ylläpitämään vaadittu bakteerikanta.



KUVIO 6. Jatkuvatoimisten vaaka- ja pystymallisten reaktoreiden toiminta periaate.

Fed-batch -reaktori on käytännössä panosreaktori, mutta erona normaaliin panosreaktoriin Fed-batch -reaktoriin syöte lisätään useammassa erässä. Aluksi reaktori täytetään osittain. Syötetyn raaka-aineen annetaan reagoida lähes loppuun asti, jolloin reaktoriin lisätään saman verran uutta syötettä. Tätä toistetaan siihen asti, että reaktori on täynnä ja syöte bakteerit ovat hyödyntäneet syötteen. Tämän jälkeen reaktori tyhjennetään ja täytetään osittain uudelleen.

Reaktoreiden eristys hoidetaan yleensä vuorivilla- tai uretaanikerroksella. Useimmiten lämmitys hoidetaan kiertämällä muoviputkea reaktorin ympärille eristeen sisään, jossa kierrätetään lämmintä nestettä. Muita vaihtoehtoja ovat asentaa kierukka reaktorin sisälle tai reaktorin kaksoisvaipparakenne, jossa lämpöä luovuttava neste on vaippojen välissä.

Reaktoreissa tulee olla sekoitus, sillä muulloin liete saostuu sekä prosessissa alkaa esiintyä inhibitioita. Sekoituksen tarkoituksena on ylläpitää tehokas mädätysprosessi, sillä se tuo bakteerit jatkuvasti kosketuksiin toistensa kanssa, estää pintakerroksen kovettumisen sekä tasoittaa prosessin lämmön. Sekoitustapoja on useita, esimerkiksi syntyvän kaasun kierrättäminen reaktorin alaosaan, syötteen kierrättäminen pumpuilla ja sekoittaminen mekaanisesti lapasekoittimella. Prosessin kannalta on tärkeää löytää sopiva sekoitus nopeus, sillä liian nopea tai hidas tahti voi inhiboida prosessia. (Markku Raimovaara 2004; Markus Latvala 2009)

Lisäsyöteyksiköllä tarkoitetaan laitteistoa, jonka avulla reaktoriin on mahdollista lisätä pääsyötteen lisäksi prosessia tukemaan muuta syötettä. Laitteisto koostuu murskaimesta, jolla pilkotaan kiinteä aine todella hienojakoiseksi. Murskaimelta lisäsyöte kuljetetaan joko suoraan reaktoriin tai mahdolliseen esikäsitteilyastiaan. Reaktoriin syötettäessä tulee huomioida, että syötteen lisääminen tapahtuu siten, että prosessiin ei pääse ilmaa.

Jälkimädätysallas on käytännössä lieteallas, joka on katettu ja varustettu kaasun keräilylaitteistolla. Useimmiten onkin käytössä lieteallas, jonka ylle on asennettu kaasuhuppu. Jälkimädätys lisää merkittävästi kaasun kokonaistuotantoa, lisäys saattaa olla jopa 50 %. Jälkimädätysaltaassa voidaan suorittaa rikkivedyn poistoa syöttämällä happea kaasutilaan.

Lisäksi biokaasulaitos sisältää paljon pumppuja, venttiilejä, puhaltimia, sekoittimia ja lämmityksiä, sekä näiden tavitsemat sähköjärjestelmät ja automaatiojärjestelmät näiden ohjaamiseen. Tärkeimpiä pienempiä komponentteja ovat syötepumput, sekoittimet ja polttokattilakäytössä tuotekaasun paineenkorotuspuhallin.

4.1 Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitos

Haapajärven ammattiopiston biokaasu laitos on tyypillinen esimerkki maatalouskohtaisesta biokaasulaitoksesta. Kuviosta 6 nähdään biokaasulaitos. Kuvioon on numeroitu laitoksen keskeiset komponentit, jotka ovat 1 rakennus, jossa sijaitsee pääkeskus sekä päälogiikat, lämpökattila ja tankkausasema, 2 lisäsyöteyksikkö, 3 reaktorikontti, 4 lieteallas, 5 jälkimädätysallas ja 6 puukaasulaitteisto ja kaasumoottori, johon on kytketty generaattori.



KUVIO 7. Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitos

Rakennuksessa, joka kuvaan on merkitty numerolla 1, sijaitsevat sähköpääkeskus, biokaasu laitoksen ja biokaasun puhdistus- ja tankkausaseman päälogiikat, sekä niiden ohjaustaulut. Lisäksi kyseisen rakennuksen sisällä sijaitsee biokaasun puhdistus- ja kuivauslaitteisto sekä 30 kW lämpökattila, johon on asennettu 60 kW kaasupoltin. Rakennuksen pihalla näkyy biokaasupullopatteri sekä biokaasun tankkausasema.

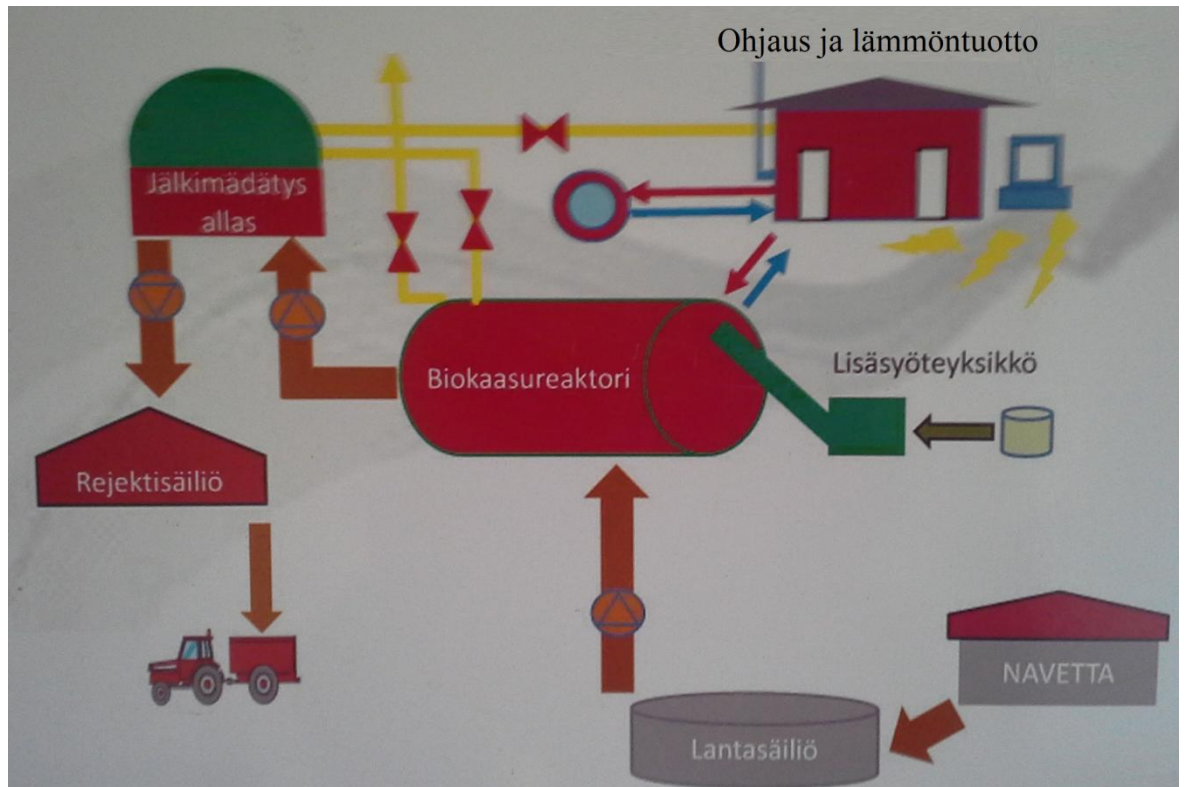
Laitoksen pääsyötteenä käytetään oppilaitoksen opetusnavetalla syntyvää lietelantaa. Reaktoriin on myös mahdollista syöttää muita raaka-aineita lisäsyöteyksikön avulla. Reaktoriin on tutkimuksissa syötetty hyvin tuloksin glyserolia, olkea ja ylijäämä rehua.

Laitoksen reaktori on 150 m^3 lieriön muotoinen vaakamallinen jatkuvatoiminen reaktori, jonka lietetilavuus on 120 m^3 . Reaktorissa lämpötila on $37 \text{ }^\circ\text{C}$, eli mädätysprosessi tapahtuu mesofiilisellä lämpötila-alueella. Reaktorin lämmitys hoidetaan lämmityskattilalla, johon suurin osa tuotetusta biokaasusta johdetaan.

Reaktorista syötetään niin tuotettu kaasu kuin käsitelty syöte jälkimädätysaltaaseen. Jälkimädätysaltaaseen mahtuu noin 300 m^3 lietettä ja 450 m^3 kaasua. Allasta sekoitetaan kahden tunnin välein, jotta liete ei pääse saostumaan. Liete viipyy jälkimädätysaltaassa noin kaksi kuukautta, jonka jälkeen suurin osa lietteen orgaanisesta aineksesta on hajonnut. Orgaanisen aineksen hajotessa altaassa syntyy jälkimädätysaltaassakin biokaasua. Yhteensä reaktori ja jälkimädätysallas tuottavat biokaasua $5\text{-}8 \text{ m}^3/\text{h}$. Altaan ja kaasuhupun välissä on puinen taso, jonka päällä on sahanpurua. Sahanpurun tehtävänä on vähentää rikkivedyn määrää kaasussa.

4.1.1 Laitosprosessi

Prosessin kierto lähtee navetasta, josta eläinten tuottama lanta siirretään lantasailiöön. Lantasailiöstä lietettä pumpataan reaktoriin noin tunnin välein noin $0,5 \text{ m}^3$ kerrallaan. Yhteensä lantaa lisätään reaktoriin $5\text{-}10 \text{ m}^3$ vuorokaudessa. Lisäsyöteyksikön avulla pystytään lisäämään syötettä suoraan reaktoriin. Biokaasulaitoksella on tehty tutkimusta lisäsyötteiden käytöstä. Tällöin on todennettu toimiviksi lisäsyötteiksi biodieselin valmistuksessa sivutuotteena muodostuva glyseroli 25 l/vrk , olki 130 kg/vrk ja säilörehu 290 kg/vrk . (Harri Heiskanen 2012)

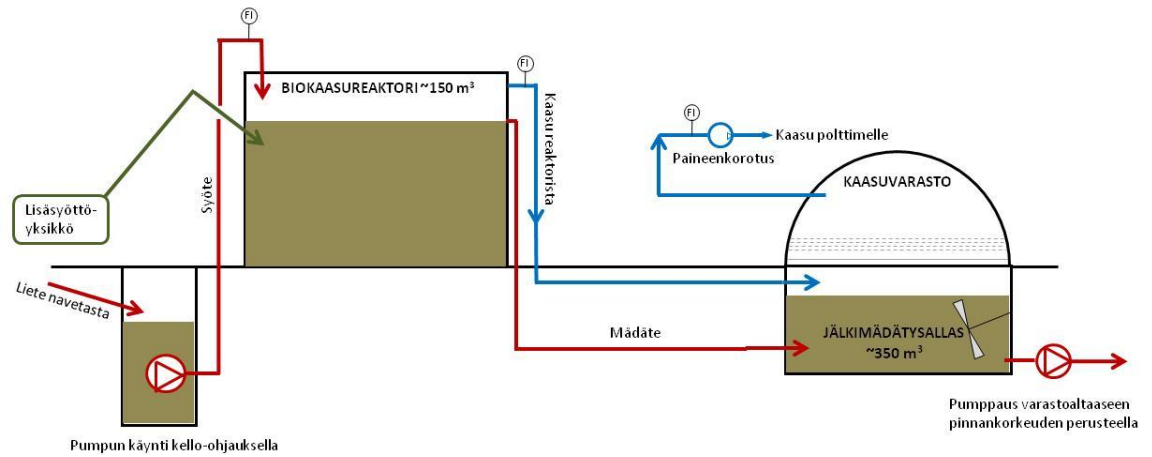


KUVIO 8. Biokaasulaitoksen prosessikaavio

Reaktorissa lietalanta ja muut syötteet viipyvät noin 22 vuorokautta tuottaen biokaasua. 22 vuorokauden kuluttua jäännös valuu jätkimädätysaltaaseen, jossa se viipyy noin 2 kuukautta, jonka jälkeen jäännös pumpataan varastoaltaaseen. Varastoaltaasta rejekti käytetään peltojen lannoittamiseen. Tämän prosessin läpi käynyt jäännös on huomattavasti parempaa kuin navetasta saatava liete, koska prosessin jälkeen lietteen ammoniumtypen osuus on korkeampi ja tämä johtaa parempaan lannoitevaikutukseen. Lietteiden hajuhaitat vähenevät, rikkakasvien ja taudinaiheuttajien määrä lietteessä vähenee. Lietteiden kuiva-ainepitoisuus laskee prosessin myötä, jonka vuoksi liete on helpompaa levittää pellolle. (Harri Heiskanen 2012)

Reaktorissa syntyvä biokaasu varastoidaan mädätysaltaaseen, jossa syntyy myös biokaasua. Mädätysaltaassa suoritetaan myös toimenpiteitä kaasun rikkivetypitoisuuden laskemiseksi. Kaasuvarastosta kaasua otetaan käyttöön tarpeen mukaan. Suurin osa kaasusta käytetään polttamalla se lämmityskattilassa. Lämmityskattilassa syntyvästä lämmöstä noin kolmannes kuluu reaktorin lämmitykseen ja loput käytetään oppilaitoksen kiinteistöjen lämmittämiseen.

Osa kaasusta jalostetaan liikennebiokaasuksi. Lisäksi puukaasulaitteiston käyttöönoton myötä tulee mahdollisuus käyttää myös tuotettua biokaasua sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.



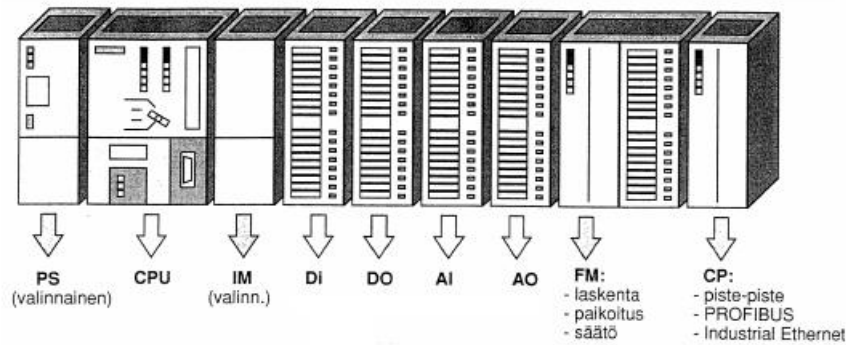
KUVIO 9. Lietteen ja kaasun kiertokulku (Harri Heiskanen 2012)

5 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

5.1 Automaatio ja ohjelmoitavat logiikat

Automaatio tarkoittaa itsetoimivaa laitetta tai järjestelmää, mutta nykyisin usein automaatiolla tarkoitetaan tietokoneen käyttämistä koneiden ja tuotantoprosessien ohjaamisessa. Useimmissa tapauksissa käytetään erityisesti automaatiota varten tehtyjä ohjelmoitavia logiikoita (PLC, Programmable Logic Control), ohjaamaan tosiaikaista automaatioprosessia siihen syötetyn logiikkaohjelman mukaan. Ohjelmoitavat logiikat ovat kehittyneet alkuperäisestä releistyksen korvaajasta monipuoliseksi ohjauslaitteeksi, jotka hallitsevat kehittyneen liikkeen ohjauksen, prosessin säädön, hajautetut hallintajärjestelmät ja tietokoneverkot. (Jukka Peltola 2013)

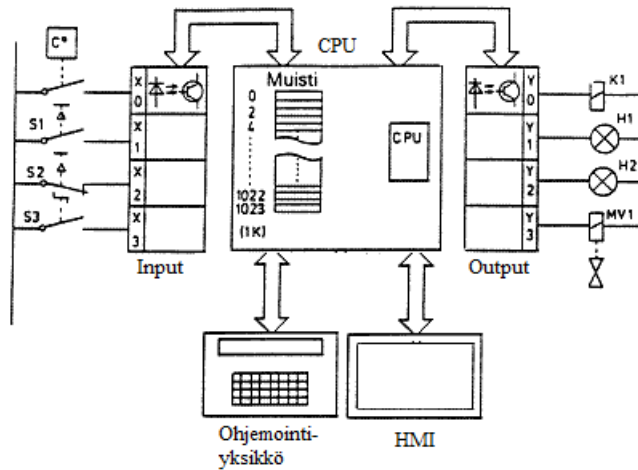
Ohjelmoitavan logiikan keskeisimmät komponentit ovat virran syöttölaitteet, CPU, I/O -yksiköt ja tiedonsiirtoyksiköt. Käyttökohteen tarpeista riippuen logiikkaan on myös mahdollista lisäksi liittää erinäisiä lisäyksiköitä. Yleisimmin käytettyjä lisäyksiköitä on HMI-käyttöliittymät, tietoliikennemuodulit, turvalaitteet sekä eräät tapauskohtaiset erikoismoduulit. On olemassa myös pienoislogiikoita, joissa on sulautettu käyttöliittymä, CPU- ja I/O -yksiköt on koottu yhdeksi yksiköksi.



KUVIO 10. Esimerkki modulaarisesta ohjelmoitavasta logiikkayksiköstä, esimerkkinä Siemens SIMATIC S7-300 (Aalto yliopisto 2011)

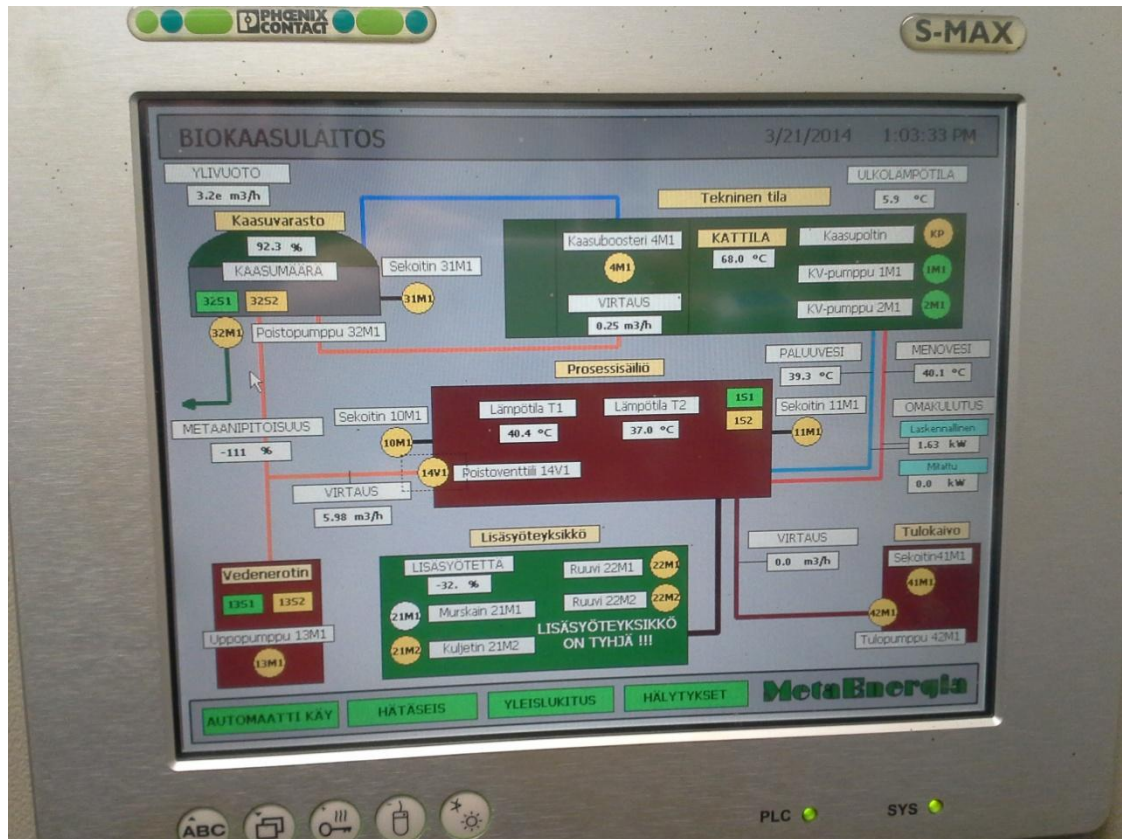
Automaation kannalta yhtä tärkeitä ovat kentällä sijaitsevat mitta- ja toimilaitteet. Kentällä olevat mittalaitteet, koskettimet ja rajakytkimet lähettävät joko digitaalista tai analogista tietoa logiikan I/O -yksikölle. Rajakytkimet, painonapit ja muut vastaavat lähettävät logiikalle digitaalista signaalia tai niin kutsuttua binäärisignaalia, eli käytännössä päällä tai pois tietoa (1 tai 0). Suureita mittaavat mittalaitteet lähettävät logiikalle analogista viestiä. Mittalaitteelle asetellaan mitta-alueen rajat ja lähetettävä signaali, joiden avulla se osaa sovittaa lähetettävän signaalin. Vastavaa asettelu tulee tehdä logiikkaohjelmaan, jotta voidaan tulkita lähettimen ilmoittama arvo. Yleisimmässä käytössä on virtaviesti alueella 4 - 20 mA ja jänniteviestit alueilla 0-10 V ja -10-10 V.

I/O -yksiköltä tulojen tiedot välitetään keskusyksikölle. Keskusyksikkö tulkitsee nämä tiedot sille syötetyn logiikkaohjelman mukaisesti. Tulotietojen ja ohjelman mukaan keskusyksikkö ohjaa lähtöjä. Yleisesti ulostulot ovat digitaalisia ja niillä ohjataan esimerkiksi releitä, kontatoreita, magneettiventtiileitä tai merkkivaloja. Releillä ja kontaktoreilla voidaan ohjata suurempitehoisia laitteita ja kolmivaiheisia kuormia. Ulostulot voivat olla myös analogisia, jolloin logiikalla voidaan ohjata toimilaitteita, kuten säätöventtiiliä, taajuusmuuttajaa tai jotain muuta vastaavaa laitetta.



KUVIO 11. Ohjelmoitavan logiikan toimintaperiaate (Oulun seudun ammattikorkeakoulu 2009)

Sovelluksissa, joissa on tarve tosiaikaiselle tiedolle prosessin vaiheista, mittaustuloksista ja laitteiden toiminnasta sekä tarve muuttaa prosessin asetusarvoja, tulee ohjelmoitava logiikka varustaa käyttöliittymällä. Ihmisen ja ohjelmoitavan logiikan välisessä kommunikaatiossa käytettävästä käyttöliittymästä käytetään termiä HMI (Human-Machine Interface). HMI voidaan toteuttaa logiikkaan liittyvillä näyttölaitteilla, joka usein on logiikkakaapin oveen sijoitettu kosketusnäyttö, tai PC-valvomo-ohjelmistojen avulla. Käyttöliittymän kautta voidaan esimerkiksi syöttää ja valvoa haluttua lämpötilaa tai painetta, jota logiikan pitää ylläpitää prosessissa.



KUVIO 12. Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitoksen HMI-näyttö S-MAX 5012

5.2 Biokaasulaitoksen automaatiojärjestelmä

Biokaasulaitoksen automaatiojärjestelmä koostuu neljästä logiikkayksiköstä sekä HMI-käyttöliittymästä, jotka on yhdistetty toisiinsa kenttäväylän avulla. Keskusten välinen väyläkaapelointi on suoritettu armeeratulla neliparisella jamak-kaapelilla, tarkalta malliltaan JAMAK ARM 4x(2+1)x0,5, josta parit 1 ja 2 käytetään väyläliikenteeseen ja parit 3 ja 4 on varattu 24 V jännitejakeluun. Jokainen logiikkayksikkö suorittaa paikallisten mitta- ja toimilaitteiden arvojen ja tilojen tulkitsemisen ja ilmoittavaa nämä väylän kautta prosessia ohjaavalle HMI-yksikölle. HMI-yksikön kontrolleri antaa saatujen tietojen perusteella väylän välityksellä ohjauskäskyjä logiikkayksiköiden ulostuloihin. Logiikkayksiköt on sijoitettu siten, että yksi logiikkayksikkö on pääkeskuksessa, toinen on prosessikontin ryhmäkeskuksessa, kolmas lisäyöteyksikön ryhmäkeskuksessa ja neljäs on mädätysaltaan ryhmäkeskuksessa.

Automaatiojärjestelmän niin kutsutusta älystä vastaa HMI -ohjain S-MAX. Tähän yksikköön ladataan logiikkaohjelma, jonka mukaan ohjain tulkitsee väylän kautta sille lähetettyä tietoa ja antaa ohjelman ja saatujen tietojen perusteella väylän välityksellä ohjauskäskyjä. HMI -yksikön kosketusnäytön avulla voidaan seurata ja ohjata prosessia siihen luotujen visuaalisten käyttöliittymien avulla. Näytössä ilmoitetaan myös vallitsevat varoitukset ja hälytykset.

TAULUKKO 4. Luettelo pääkeskuksen ohjelmoitavan logiikan komponenteista.

Komponentit ovat Phoenix contactin Inline sarjaa.

Moduulinumero	Laite	Tyyppi
A1	Väylämoduuli	IBS IL 24 BK-T/U-PAC
A2	Väylähaaroitusmoduuli	IBS IL 24 RB-T-PAC
A3	Analogialähtömoduuli 2 kanavaa	IB IL AO2/SF-PAC
A4	Analogiatulomoduuli 1 kanava	IB IL AI1/SF-PAC
A5	lämpötilan mittausmoduuli 2 kanavaa	IB IL TEMP 2-RTD-PAC
A6	lämpötilan mittausmoduuli 2 kanavaa	IB IL TEMP 2-RTD-PAC
A71	Digitaalitulomoduuli 32 tuloa	IB IL 24 DI 32-PAC
A72	Digitaalitulomoduuli 32 tuloa	IB IL 24 DI 32-PAC
A8	Digitaalilähtömoduuli 8 tuloa	IB IL 24 DO 8-PAC
A9	Jännitteen jakomoduuli	IB IL 24 PWR IN-PAC
A10	Digitaalilähtömoduuli 16 tuloa	IB IL 24 DO 16-PAC
	Tasavirtalähde 24 VDC/10 A	QUINT-PS-100-240AC/24DC/10
	UPS moduuli 24 VDC/10 A/ 3,4Ah	QUINT-DC-UPS/24DC/10

Pääkeskuksen kotelossa sijaitseva logiikkayksikkö on logiikkayksiköistä selvästi laajin, se koostuu yhteensä 11 erillisestä moduulista. Logiikka on varustettu yhteensä 64 digitaalitulolla, 24 digitaalilähdöllä, kahdella analogisella lähtökanavalla ja kolmella analogisella tulokanavalla, joista kaksi on lämpötilan mittauskanavia. Logiikka on

varustettu myös jännitteenjakomodulilla sekä virransyöttölaitteistolla, joka koostuu 24 voltin tasajännitelähteestä ja UPS -yksiköstä. Tähän logiikkayksikköön tulee InterBus -väylä pääkeskuksen oveen asennettulta HMI -laitteelta ja väylä lähtee prosessikontissa sijaitsevalle logiikalle, josta väylä on haaroitettu muille logiikoille.

Logiikkaan liitetyillä mittalaitteilla mitataan tuotekaasujen pitoisuutta, kattilan lämpötilaa, ulkolämpötilaa, kattilan menoveden ja paluuveden lämpötilaa sekä virtausta. Kattilan menoveden ja paluuveden lämpötilaerosta ja veden virtaustiedoista voidaan laskea tuotettu lämpöenergia. Logiikalla ohjataan lämmityskattilan, kaasun paineenkorotuspuhaltimen ja kiertovesipumppujen toimintaa.



KUVIO 13. Pääkeskuksen ohjelmoitava logiikka

Kuviossa 13 näkyy pääkeskuksessa sijaitseva logiikka ja logiikan virran syötöstä vastaavat laitteet. Ylemmällä rivillä on logiikka ja sen vieressä näkyy vesemmalta oikealle katsottuna riviliittimet, hätäseis-rele ja keskuksen termostaatti. Kuvasta näkyy hyvin logiikan moduulirakenne. Alarivillä nähdään vasemmalta oikealle lueteltuna keskuksen lämmitysvastus, teholähde, katkeamattomasta jännitteen syötöstä vastaava UPS sekä oikealla automaatiopiirin jännitteensyötön johdonsuojakatkaisijat. Muut kolme logiikkayksikköä ovat hyvin saman kaltaisia. Eroina on lähinnä erilaiset logiikkamoduulityypit ja moduulien määrät. Virran syöttölaitteet ovat muissa logiikoissa hieman matalampi tehoiset.

Prosessikontissa sijaitsevassa ryhmäkeskuksessa RK1 sijaitsee automaatiojärjestelmän toiseksi laajin logiikka, joka on varustettu seuraavilla moduuleilla: kaksikanavaisilla lämpötilamittaus- ja analogia tulo- ja lähtömoduuleilla, 32 tuloisella digitaalitulomoduulilla, 16 lähtöisellä digitaalilähtömoduulilla, väylähaaroitusmoduulilla, virransyöttömoduulilla sekä kolmella yksikanavaisella analogia sisääntulomoduulilla. Tällä logiikalla hallinnoidaan reaktoriprosessia.

TAULUKKO 5. Ryhmäkekuksen RK1 logiikkayksikön komponentit. Komponentit ovat Phoenix contactin Inline sarjaa.

Moduulinumero	Laite	Tyyppi
A1	Väylämoduuli	IBS IL 24 BK-T/U-PAC
	Väylähaaroitusmoduuli	IBS IL 24 RB-T-PAC
A2	lämpötilan mittaussmoduuli 2 kanavaa	IB IL TEMP 2-RTD-PAC
A3	Analogiatulomoduuli 2 kanava	IB IL AI2/SF-PAC
A4	Analogialähtömoduuli 1 kanavaa	IB IL A01/SF-PAC
A5	Digitaalitulomoduuli 32 tuloa	IB IL 24 DI 32-PAC
A6	Jännitteen jakomoduuli	IB IL 24 PWR IN-PAC
A7	Digitaalilähtömoduuli 16 tuloa	IB IL 24 DO 16-PAC
A8	Analogiatulomoduuli 2 kanava	IB IL AI2/SF-PAC
A9	Analogiatulomoduuli 2 kanava	IB IL AI2/SF-PAC
A10	Analogiatulomoduuli 2 kanava	IB IL AI2/SF-PAC
	Tasavirtalähde 24 VDC/2,5 A	QUINT-PS-100-240AC/24DC/2,5
	UPS moduuli 24 VDC/5 A/ 1,3Ah	QUINT-DC-UPS/24DC/5

Logiikkaan on liitetty prosessin lämpötilamittaukset, syntyvän kaasun virtausmittaus, syötteen lisäysmäärän mittaus sekä pintarajat, joilla valvotaan reaktorin ja vedeneroituskauvon täyttöastetta. Pintarajoilla ohjataan pumppuja. Logiikalla ohjataan reaktorin sekoittimia, poistiventtiiliä, vedenerotuskauvon uppopumppua . Ryhmäkeskuksessa on myös yksikkösäädin, jonka avulla säädetään reaktorin lämpötilaa. Säätimeen asetetaan haluttu lämpötila. Säädin tarkkailee siihen kytkettyä reaktoriin sijoitettua pt100-lämpötila-anturia ja tarvittaessa säätää kattilahuoneessa olevaa reaktorin lämmityksen suuntiventtiiliä.

Ryhmäkeskuksissa RK2 ja RK3 sijaitseva pienemmät logiikat ovat komponenteiltaan idettiset. Logiikat on varustettu väylämoduulein, 32 digitaalisella tulolla, 16 digitaalisella lähdöllä, kahdella analogisella tulokanavalla sekä jännitteenjakelumoduulilla. Näiden logiikkayksiköiden jännitteensyöttö tullaan varmentamaan ainakin kesäisin UPS-laitteella,

sillä sähkökatkokset aiheuttavat harmia muun muassa nollaamalla kaikki ohjelman laskurit ja ajastimet.

Taulukko 6. Ryhmäkeskusten 2 ja 3 logiikkayksiköiden. komponentit. Komponentit ovat Phoenix contactin Inline sarjaa.

Moduulinumero	Laite	Tyyppi
A1	Väylämoduuli	IBS IL 24 BK-T/U-PAC
A2	Analogiatulomoduuli 2 kanava	IB IL AI2/SF-PAC
A3	Digitaalitulomoduuli 32 tuloa	IB IL 24 DI 32-PAC
A4	Jännitteen jakomoduuli	IB IL 24 PWR IN-PAC
A5	Digitaalilähtömoduuli 16 tuloa	IB IL 24 DO 16-PAC
	Tasavirtalähde 24 VDC/2,5 A	QUINT-PS-100-240AC/24DC/2,5
SUUNNITELTU	UPS moduuli 24 VDC/5 A/ 1,3Ah	QUINT-DC-UPS/24DC/5

Ryhmäkeskuksen RK2 logiikka on lähinnä vain lisäsyöteyksikön ohjausta varten. Analogiatuloon tuodaan tieto lisäsyötelaitteiston täyttöasteesta. Digitaalituloihin tuodaan lähinnä tietoa laitteiston osa-alueiden ja turvalaitteiden tiloista ja käyntitiedoista lisäksi niihin tulevat paikallisohjaustiedot. Tämän logiikan logiikan tuodaan ohjaus ainoastaan lisäsyötelaitteiston neljän moottorin ohjaukseen, molempiin suuntiin. Lisäsyöteyksikön toiminnan ohjaus on vaihdettu nykyään painon mukaan tapahtuvasta aikasykleillä toimivaksi.

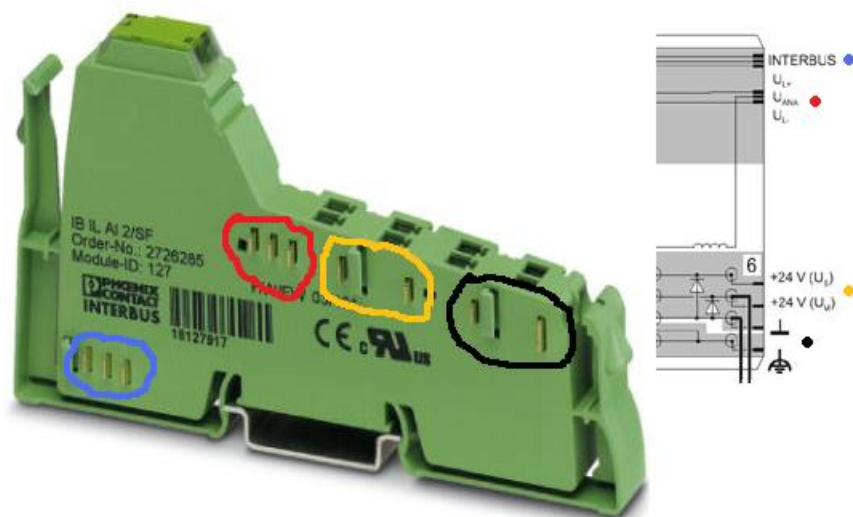
Jälkimädätyksen ryhmäkeskuksessa RK3 sijaitsevan logiikkayksikköön liitetyillä mittalaitteilla tarkkaillaan altaan liete- ja kaasumääriä. Logiikalla ohjataan poistopumppua lietteen pintarajojen mukaan. Kyseisellä logiikkayksiköllä ei pumpun lisäksi ohjata muuta kuin mädätysaltaan sekoitinta. Sekoittimen käyttö on ohjelmoitu kahden tunnin sykleihin.

Informaation siirto I/O -yksiköiltä kontrollerille ja kontrollerilta kentälle on toteutettu väyläteknikalla. Kontrolleri ja kaikki väylämoduulit ovat kytketty toisiinsa rengasmaisen InterBus -kenttäväylän avulla. Pääkeskuksen oveen asennetussa kosketusnäytössä on

kenttäväylän ainoa kontrolleri, joka siten on väylän master. Muut väylämoduulit ovat slave-yksiköitä. Fyysinen kytkentä on toteutettu siten, että kontrollerilta lähtee InterBus-väyläkaapeli pääkeskuksen logiikan väylämoduulin tuloon. Josta väylä jatketaan lähdestä armeeratulla jamak -instrumentointikaapelilla ryhmäkeskuksen RK1 logiikan väylämoduulin tuloon. Ryhmäkeskuksen RK1 väylämoduulin lähdestä väylä viedään lisäsyöteyksikön logiikkayksikölle. Ryhmäkeskuksen RK1 logiikka on varustettu väylähaaroitusmoduulilla, jolla väylä haaroitetaan jälkimädätysaltaan logiikkayksikölle.

5.3 Phoenix Contact Inline

Biokaasulaitoksen ohjelmoitava logiikka on toteutettu Phoenix Contactin Inline-sarjan tuotteilla. Inline-sarjan logiikat ovat modulaarirakenteisia, eli kaikki logiikan toiminnot ovat omalla moduulillaan. Moduulit kytkeytyvät niiden kyljissä olevien liittimien avulla toisiinsa. Logiikkamoduulit ja muut sarjan laitteet asennetaan painamalla DIN-kiskoon, joten logiikan räätälöinti ja muokkaus on todella helppoa ja monipuolista.



KUVIO 14. Logiikkamoduuli ja sen kyljessä olevat liittimet (Phoenix Contact 2014a)

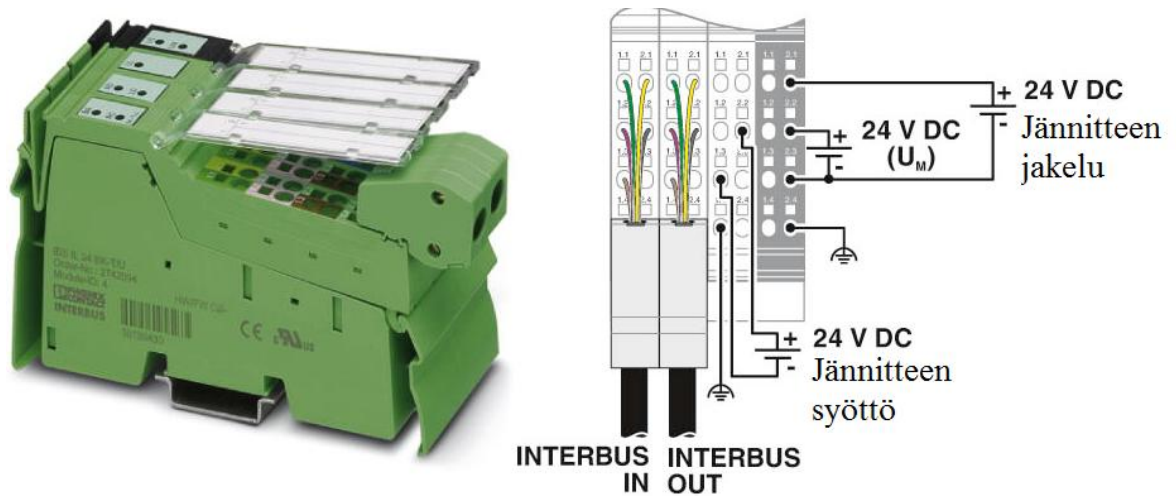
5.3.1 Kontrolleri ja väylämoduulit

Phoenix Contactin ohjelmoitavien logiikoiden niin kutsuttu äly sijaitsee kontrollereissa. Kontrollerit vastaavat esimerkiksi Siemensin ohjelmoitavien logiikkasarjojen CPU-yksikköä. Kontrollerit ovat yleensä varustettu Ethernet liittymällä, jonka kautta kontrolleriin voidaan liittyä tietokoneella ja ladata kontrolleriin logiikkaohjelma. Muita liittymäjä voivat olla teollisuusethernet tai kiinteistötekniikassa käytetty LONWorks. Kontrollerit voivat olla varustettu lisäksi esimerkiksi USB-liittymällä tai GSM- ja GPRS ominaisuuksilla.

Kontrolleri voi olla DIN -kiskoon liitettävä moduuli tai vaihtoehtoisesti se voi olla integroitu HMI -näyttöön. HMI -näyttö on käytännössä kompakti teollisuus pc, joka voi olla varustettu esimerkiksi Windows -käyttöjärjestellä. Kontrolleriin voidaan liittää joko suoraan I/O -moduuleita tai ne liitetään jonkin kulloinkin käytössä olevaan tiedonsiirtöväylään liitetyihin väyläkoplereihin. Väyläkopleriin liitetyt I/O -moduulit tulevat osaksi käytettyä väylää, jonka kautta väylän master eli kontrolleri pyytää tarvitsemansa tulosten tiedot ja lähettävät lähtöihin ohjauskäskyjä. Kontrolleri on aina väylän master ja yhdessä väylässä voi olla vain yksi kontrolleri. Kontrollerit voidaan kuitenkin linkittää toisiinsa, täten luodaan kontrollerin välinen tiedonsiirtoyhteys.

Hajautetussa automaatiojärjestelmässä on tarve saada jaettua kentältä saatu tieto useaan paikkaan sekä mahdollisesti antaa käskyjä yhdestä pisteestä koko järjestelmään tai käskyjä voidaan antaa järjestelmään useasta paikasta. Suuremmissa järjestelmissä käskynatohierarkia voi olla moni tasoinen. Nykyisin tämä toteutetaan kenttäväylän avulla. Phoenix Contact käyttää InterBus-väylää, johon biokaasulaitoksella logiikkayksiköt liittyvät IBS IL 24 BK-T/U-PAC -väylämoduulin avulla. Muut logiikkamoduulit liitetään tähän väylämoduuliin, jonka kautta ne liittyvät InterBus-väylään ja sen avulla logiikkaa ohjaavaan kontrolleriin. Yhteen väylämoduuliin on mahdollista liittää yhteensä 63 lisämoduulia. Yhdestä väylämoduulista on mahdollista väylää haaroittaa biokaasulaitoksellakin käytetyillä väylähaaroitusmoduuleilla maksimissaan 15 kohteeseen. Väylähaaroitusmoduulien, kuten IBS IL 24 RB-T, ainoa funktio on jakaa tunnistettavasti

logiikkamoduulien sisällä kulkeva väylä moduulin päällä oleviin liittimiin.

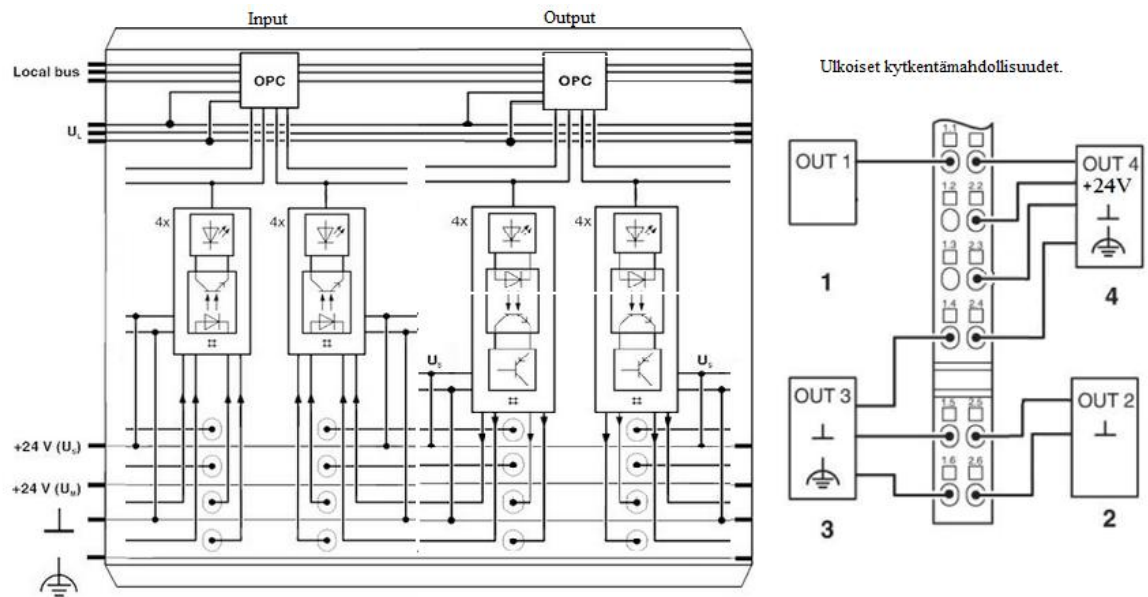


KUVIO 15. Väylämoduuli IBS IL 24 BK-T/U-PAC ja sen kytkentä (Phoenix Contact 2014a)

5.3.2 I/O -yksiköt

I/O -yksiköt eli yksiköt, joiden välityksellä automaatio järjestelmään tuodaan tietoa prosessista ja näyden tietojen perusteella annetaan prosessiin ohjauskäskyjä. I/O- yksiköt ovat digitaalisia ja analogisia tulo- tai lähtöyksiköitä, jotka liitetään kontrollerin tai hajautetuissa järjestelmissä väylämoduulin kylkeen. Phoenix Contactin valikoimassa on eri tilanteisiin räätälöityjä mittaus- ja ohjausmoduuleita, jotka perustuvat tavallisiin digitaali tai analogia I/O -yksiköihin.

Digitaali I/O -moduulilla tarkoitetaan komponentteja, joilla tuodaan järjestelmään tai lähetään järjestelmästä binääristä 1 tai 0 tietoa. Tuloyksiköihin tuodaan jännitetietoa siihen kytketyiltä laitteilta, esimerkiksi painonapilta. Sisään tuotavat tulojännitetasot 15-30 VDC luetaan tilaksi 1 ja jännitetasot -3-5 VDC luetaan 0 -signaaliksi. Lähtöyksiköstä annetaan liittimiin 1 ja 0 -signaaleja siten, että 1 -signaali vastaa jännitetasoa 24 VDC ja 0 -signaali 0 VDC

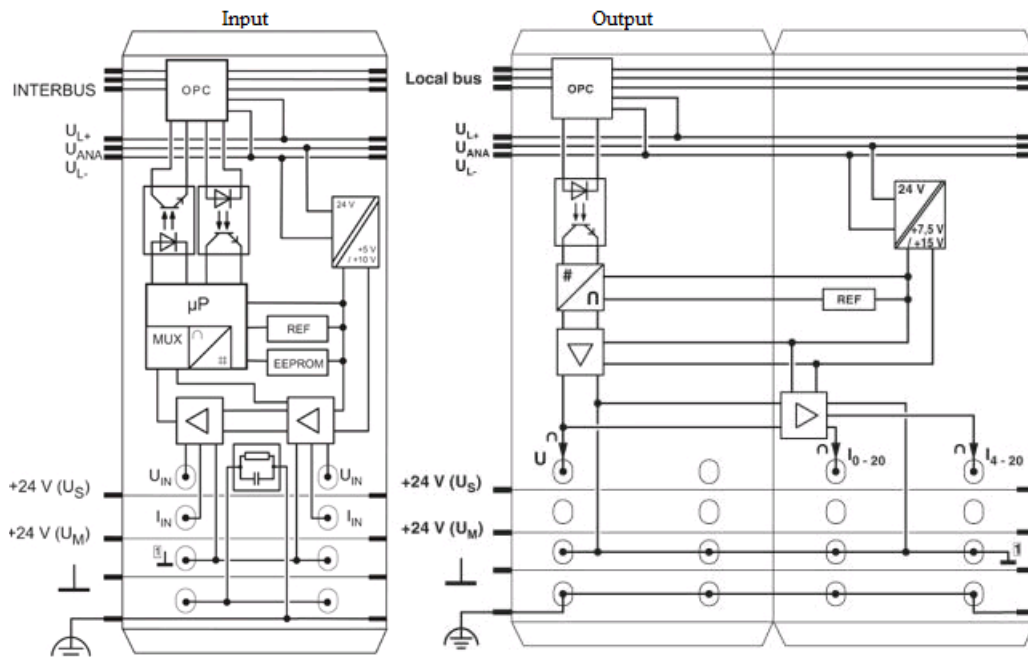


KUVIO 16. Digitaali I/O –yksiköiden sisäiset ja ulkoiset kytkennät (Phoenix Contact 2014a)

Edellä esitettyssä kuvassa 16 on havainnollistettu I/O –yksiköiden kytkennät. Sisäiset kytkennät on näytetty molemmista erikseen, mutta ne on esitetty ikään kuin samojen kuorien sisällä. Tuloyksikössä tuloliittimeen syötetty signaali välitetään optoerottimen välityksellä OPC –rajapinnan kautta InterBus –väylään, josta tieto välittyy kontrollerille. Lähtöyksikköön kontrolleri antaa ohjauskäskyjä InterBus –väylän kautta. Käskyt tuodaan väylästä OPC –rajapinnan kautta, jonka jälkeen signaali ohjaa optoerottimen kautta lähtötransistorin aktiiviseen tilaan. Molemmissa yksiköissä on led –merkkivalot osoittamassa kunkin tulon ja lähdön tilaa. Kuvan 16 esittämällä tavalla digitaali I/O –yksiköiden ulkoinen kytkentä voidaan suorittaa 1, 2, 3 tai 4 johtimisella kytkennällä. Tämän ulkoisen kytkentätavan määrää I/O –moduulin sisäinen kytkentä, eli mitä mihinkin liittimeen on sisäisesti johdotettu. Moduuleja on saatavilla 2, 4, 8, 16 ja 32 tuloisena/lähtöisenä. (Phoenix Contact 2014a)

Analogisilla I/O –yksiköillä tarkoitetaan komponentteja, joilla tuodaan järjestelmään tai lähetään järjestelmästä analogista jännite- tai virtaviestiä. Phoenix Contact Inline sarjan komponenttien lähettämä jänniteviesti on arvojen 0-10 VDC välillä ja virtaviestit lähetetään arvojen 4-20 mA tai 0-20 mA välillä. Tulomodulaalien jänniteviesteissä

voidaan käyttää alueita 0-10 VDC ja -10-10 VDC ja tuetut virtaviestialueet ovat 4-20 mA, 0-20 mA ja -20-20 mA. Analogisissa I/O -moduulissa on erilliset kanavat jännite- ja virtaviesteille.



KUVIO 17. Analogisten I/O -yksiköiden sisäiset kytkennät (Phoenix Contact 2014a)

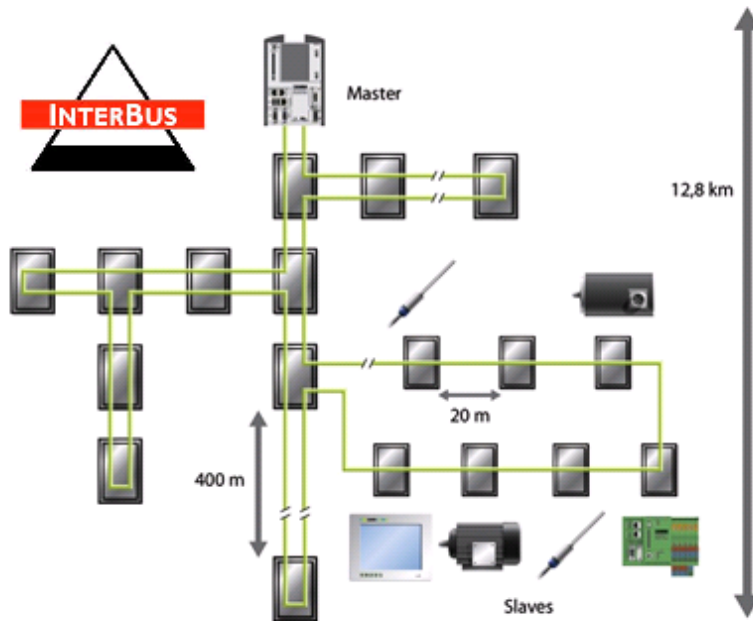
Edellä esitetyssä kuvassa 17 on havainnollistetaan analogisten I/O -yksiköiden sisäiset kytkennät. Tuloyksikössä tuloliittimiin syötetty jännite- tai virtasignaali kulkeutuu vahvistimeen, josta se syötetään vahvistettuna mikroprosessorille. Mikroprosessorissa tiedot kerätään yhteen ja tiedot muutetaan digitaaliseen muotoon. Digitaalitieto koodataan lähetykelpoiseen muotoon ja se lähetetään optoerottimen välityksellä OPC -rajapinnan kautta InterBus -väylään, josta tieto välittyy kontrollerille. Lähtöyksikköön kontrolleri antaa ohjausviestin InterBus -väylän välityksellä. Viestit tuodaan väylästä OPC -rajapinnan kautta, jonka jälkeen signaali johtuu optoerottimen kautta vahvistimille. Vahvistettu viesti johdetaan moduulin päällä sijaitseviin liittimiin. Analogisissa yksiköissä on ulkoisissa kytkennöissä käytettävä aina vähintään kaksijohtimista suojattua kytkentää. (Phoenix Contact 2014a)

5.3.3 Virransyöttö

Phoenix contactin logiikkalaitteistot tarvitsevat toimiaksiseen 24 voltin tasajännitesyötön. Tätä varten jokainen logiikkayksikkö on varustettu omalla virtalähteellä, jolla verkosta saatava 230 VAC muutetaan logiikalle sopivaksi 24 VDC jännitteeksi. Jännitelähteiksi on valikoitu Phoenix Contactin QUINT-PS-100 -sarjan virtalähteet. Jännitteen syöttö on turvattu saman valmistajan ja saman sarjan UPS-laitteilla. Virtalähteet on syötettävissä laajoilla jännitealueella, 85 -264 VAC taajuus alueella 45-65 Hz sekä 90-350 VDC. Kyseisen sarjan teholähteitä on saatavissa 2,5, 5, 10, 20, 30 ja 40 ampeerin virran tuottokyvyllä, sekä myös 12, 24 ja 48 voltin ulostulojännitteellä. Biokaasulaitoksen Pääkeskuksen logiikkayksikkö on varustettu tehokkaammilla 10 ampeerin virransyötön omaavilla laitteilla ja muut logiikkayksiköt 2,5 ampeerin virtalähteillä. Virtalähteet hetkellisesti kuormitettavissa 50% ylikuormalla. Virtalähteet on varustettu suurikokoisilla kondensaattoreilla, joilla pystytään paikkaamaan hyvin lyhyet jännitekatkokset, noin 20 ms täydellä kuormalla. (Phoenix Contact 2014a)

5.3.4 InterBus

InterBus on avoin kenttäväyläjärjestelmä, jota Phoenix Contact tukee ja kehittää. InterBus yhdistää kaikki prosessin etälaitteet ohjaimiin rengasmaisella verkolla. Sarjaväyläkaapelilla voidaan verkottaa anturit ja toimilaitteet, ohjataan koneita ja laitteisto-osia sekä yhdistää ylempitasoisia järjestelmiä. InterBus on yksi yleisimmin käytetyistä kenttäväyläjärjestelmistä, sillä yli tuhat valmistajaa tekee laitteita ja ohjelmistoja, jotka pohjautuvat InterBus-väylään. (Jukka Peltola 2013; Phoenix Contact 2014b)



KUVIO 18. InterBusväylän topologia (Phoenix Contact 2014b)

Kuvasta 18 näkyy InterBus -väylän rengasmainen verkkotopologia, jossa on yksi mestari ja mestarilaitteeseen liitetyt slave -yksiköt, joita yhdeten master -yksikköön voidaan liittää 63 kappaletta. Solmussa kiertää kaksi kaapelia, toinen tuo ja toinen vie tietoa. Inter Bus -väylän kokonaispituus saa maksimissaan olla vajaa 13 km ja kahden perättäisen laitteen väli voi olla 400 m. Tiedonsiirtonopeus Interbus-renkaassa on 500 kbit/s ja I/O -pistettä maksimissaan siinä voi olla 4096. (Phoenix Contact 2014b)

InterBus väylän yksi suurimpia vahvuuksia on sen helppo asennus. Väylä on helppo haaroittaa uudelle laittelle ja väylä konfiguroituu automaattisesti yhteiskehyksen kierrettyä ensimmäisen täyden kierroksen uusien laitteiden läpi. Yhteiskehyksen kysely kierroksella konfiguroidaan kaikki väylään kytketyt laitteet ja niille annetaan osiotteet, joiden perusteella laitteilta kerätään tietoa ja niitä ohjataan. Koska käytössä on rengasmainen verkkotopologia niin väylä ei tarvitse erillistä päätettä.

Interbusin tiedonsiirto eroaa protokollaltaan muista kenttäväylyistä. Useissa

kenttäväyläratkaisuihin (Profibus, IEC Fieldbus) käytetään ns. sanomaperusteista tiedonsiirtoa, jossa jokaisen moduulin kanssa kommunikointiin tarvitaan oma kehysensä. Tällöin suurien järjestelmien reaaliaikaiseen ohjaukseen vaaditaan suurta väylänopeutta. Interbusin tiedonsiirto perustuu yhteiskehysprotokollaan, jossa on yhteinen kehys kaikille moduuleille. Kaikki moduulit on kytketty silmukkaan, jonka kehys kiertää vakioajassa. Voidaan ajatella, että yhteiskehys on kuin juna, joka pysähtyy jokaisen moduulin kohdalla ja kerää tietoa moduulille varattuun vaunuun ja antaa moduulille sille osoitetut ohjaustoiminnot. Tämä lisää suuresti protokollatehokkuutta. (Jukka Peltola 2013)

Ohjelmakierrosaika on deterministinen, eli suurin osa kierrosajasta on riippuvainen väylässä liikkuvan tiedon määrästä, sillä tiedonsiirtonopeus on lähes vakio. Yhteiskehysprotokollalla pystytään takaamaan väylälle vasteaika. Vikadiagnostiikan kannalta rengasmuotoinen ratkaisu on yksinkertaista väylää parempi ratkaisu, sillä renkaassa vika voidaan paikallistaa aseman tarkkuudella. Saksalaisen autoteollisuuden vaatimuksen mukaan InterBus-väylän on ProfiBus-väylän tavoin integroiduttava ylemmällä tasolla Profinet protokollaan. (Jukka Peltola 2010)

InterBus-väylän rengasmallinen topologia tekee siitä luotettavan ja käyttäjäystävällisen vikatilanteissa. Verrattaessa esimerkiksi ProfiBus-väylään, joka useimmissa vikatilanteissa menee käyttökelvottomaksi ja sen vuoksi ProfiBus -väylästä ei voida vika kohtaa määrittää. Rengasmaisen topologian vuoksi InterBus-väylä kykynee toimimaan vikaantunutta väylän osaa lukuunottamatta täysin normaalisti, ja tällöin voidaan vikapaikka kartoittaa.

Esimerkiksi kun kaapeliin tulee oikosulku ProfiBus-väylän tiedonsiirto estyy täysin. InterBus -väylän tiedon siirto estyy oikosulun jälkeen. Järjestelmä havaitsee väylässä muutoksia ja tekee väylän automaattisen konfiguroinnin, näin väylän ehjä osa voi jatkaa normaalia toimintaa. Kontrolleri antaa hälytyksen, jossa ilmoitetaan väylän vikaantuneen ja vikaantuneeseen osaan tiedonsiirron estyneen. Näin ollen vikaväli nähtävissä kun katsotaan missä kohden väylän tiedonsiirto estyy. Vastaavalla tavalla esimerkiksi hetkelliset häiriöt tai väylän laitteiden jännitteen syöttöhäiriöt on InterBus-väylässä paikallistettavissa.

6 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ JA MUUTOSTEN SELVITYS

Biokaasulaitoksen sähköjärjestelmään kuuluu neljä sähkökeskusta, jotka on jo edelläkin mainittu, eli pääkeskus ja ryhmäkeskukset RK1, RK2 ja RK3. Syöttökaapeli tulee pääkeskukseen, josta sähkö syötetään ryhmäkeskuksille. Kaasunkäsittelyssä ja puukaasutuskontissa ovat omat keskuksensa, mutta ne rajataan tämän työn ulkopuolelle. Tulevissa kappaleissa käsitellään laitoksen sähköjärjestelmää sekä tutkimuksissa ilmenneitä muutoksia niin 230 voltin järjestelmissä kuin automaatiojärjestelmissä. Selvitystyöstä teki etenkin automaatiojärjestelmän osalta haasteelliseksi se, että harvassa oli kuva, joka olisi täysin pitänyt paikkansa. Kun kuviin ei voinut täysin luottaa, katsoin tulot ja lähdöt logiikkaohjelmasta, mutta varmensin ne vielä kenttätutkimuksissa. Muuten työ oli kentällä tapahtuvaa selvitystä. Menin keskukselle kyseisen keskuksen kuvat kädessäni ja aloin kuva kerrallaan varmistamaan niiden paikkansa pitävyyttä. Koin, että ainoastaan tällöin voidaan saada riittävän luotettava lopputulos.

6.1 Pääkeskus PK

Pääkeskus on kaksiosainen keskus, jonka toinen puoli on varattu automaatiojärjestelmän laitteille. Biokaasulaitoksen sähkösyöttö tulee pääkeskukselle, josta se jaetaan nousukaapeilla ryhmäkeskuksille. Pääkeskuksesta syötetään jännite myös rakennuksen valaistukselle, pistorasioille, ilmainvaihтокoneille, logiikoille ja muille rakennuksen laitteille. Lisäksi keskuksesta otetaan jännitteen syöttö vesijohtojen ja kaasuputken saattolämmitykseen sekä lämmityskattilan kaasupolttimelle ja sähkövastuksella. Keskus on varustettu näiden kojeiden jännitteenjakelukomponenttien lisäksi releillä ja kontaktoreilla, joilla ohjataan kiertovesipumppuja, ilmapumppu sekä kaasun paineen korotuspuhallinta.

Pääkeskuksen 230 voltin järjestelmään ei vuosien aikana ole kovin paljoa pysyviä

muutoksia tehty. Muutokset olivat pieniä, kuten, että rakennusvaiheessa pääkeskukselle on asennettu suunniteltua isompi syöttökaapeli. Alkuperäisistä kaasuputken kolmesta saattolämmityksestä kaksi on poistettu ja keskuksesta niiden tilalla syötetään ilmanvaihtopuhaltimia ja vesiputkien saattolämmitystä. Lisäksi järjestelmään on lisätty jälkikäteen kaasun virtausmittari, jonka jännitteen syöttö on otettu pääkeskuksesta. Keskukseen oli toki tehty kaasun käsittely- ja tankkausasemaan liittyviä muutoksia, mutta ne rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Logiikkaohjelmassa on sattunut virhe, josta aiheutuu, että kaasun paineen korotuspuhallin ei pysähdy, vaikka kaasupoltin menisi häiriöön, vaan puhallin jää painamaan kaasua poltinta vasten ja tämä johtaa puhatimen ennenaikaiseen rikkoutumiseen. Tämä on estetty keskuksesta tehdyllä väliaikaisella ratkaisulla. Tämä tullaan korjaamaan ohjelmallisesti.

Automaatiojärjestelmän muutosten selvittämisen aloitin I/O-luettelosta, jonka nykytilan selvittämisen tilaaja priorisoi tärkeimmäksi. Luettelo ei voinut pitää paikkaansa jo senkään vuoksi, että logiikkayksikön moduulirakenne poikkesi piirrustuksista, jotka oli laadittu saamaan aikaan I/O-luettelon kanssa. Logiikasta on poistettu sarjaliikenne moduuli ja se on korvattu kaksikanavaisella analogiasisääntulomoduulilla. Logiikkaan on lisätty toinen 32 sisääntuloinen digitaalitulomoduuli. Logiikasta oli myös poistettu vanha akku ja akkulaturi, ja ohjelmasta näiden toiminnan valvonta. Edellä mainitun jälkeenpäin lisätyn virtausmittarin tieto on tuotu pääkeskuksen logiikan analogiatulomoduuliin A4. Rakennuksen hätä-seis-painikkeiden tiedot on tuotu pois puretun UPS -yksikön valvontaan käyttäytymisiin tuloihin.

6.2 Prosessikontin ryhmäkeskus RK1

Prosessikontissa sijaitseva ryhmäkeskus on ryhmäkeskusten RK2 ja RK3 kanssa samanlainen kennorakenteinen teollisuussähkökeskus. Ryhmäkeskuksesta RK1 otetaan sähkönsyöttö reaktorikontin rakennussähköille, kaasun- ja lietteenmäärämittalaitteille, logiikalle, saattolämmityksille sekä reaktorin sekottimien ja uppopumpun moottoreille. Sekoittimen moottorit ovat varustettu pehmökäynnistimin.

Ryhmäkeskukseen RK1 oli tehty jonkin verran muutoksia, joista osa oli purettu pois, mutta osa näistä muutoksista oli jätetty keskukseen. Reaktoriin oli lisätty lietteen syöttö- ja poistopumput, mutta nämä on poistettu käytöstä. Keskukseen sisälle on kuitenkin jätetty näiden kontaktorit sekä ohjausjohtimet. Reaktorikonttiin on lisätty lietteenmäärä- ja kaasun ohivuotomääränmittalaitteet, mutta näiden jännitesyöttö on ketjutettu kaasun määrämittalaitteelta. Lisäksi keskukselta on otettu jännitteen syöttö lisätyille ilmanvaihtopuhaltimille ja kolmivaihepistorasioille. Näiden lisäksi keskuksen vahvavirtapuolelle ei muita muutoksia ole tehty.

Logiikkayksikkö poikkesi myös moduulirakenteeltaankin kuvista, joten I/O -luettelokaan ei pitänyt paikkaansa. Logiikasta on poistettu toinen digitaaliulomoduuli, ja siihen on lisätty kolme yksikanavaista analogiatuloa. I/O -yksiköihin kytketyt syöttö- ja poistopumppujen toimintaan liittyvät johtimet olivat tarpeettomia, sillä totesin kaiken niihin liittyvän olevan logiikkaohjelmasta poistettu. Logiikkaan oli lisätty hätä-seis-painikkeita ja kaasun ohivuotomäärä- ja lietteenmäärämittaukset sekä kaasun metaanipitoisuusmittaus. I/O -luettelosta puuttui myös poistuventtiiliin liittyvät merkinnät.

6.3 Lisäsyöteyksikön ryhmäkeskus RK2

Lisäsyöteyksikön ryhmäkeskuksesta ei jännitesyöttöä juuri oteta keskuksen ulkopuolelle. Ainoat jännitesyötöt keskuksen ulkopuolelle ovat kahden murskan ja kahden ruuvimoottorien syötöt, valaistus sekä ruuvimoottorien lämmityspistorasia. Vahvavirtapuolelle ei tässä keskuksessa kovin paljoa muutoksia ole tehty. Ruuvimoottorilähtiin on lisätty pehmokäynnistimet sekä ruuvimoottorin 2 lämmitys. Erästä kuviin piirrettyä pistorasiaryhmää ei oltu koskaan asennettu. Keskuksesta on otettu jännitesyöttö 32 A kolmivaihepistorasialle. Tätä tutkiessani kiinnitin huomiota, että pistorasiaa ei ollut varustettu vikavirtasuojakytkimellä.

Myös ryhmäkeskuksessa RK2 sijaitsevan logiikan moduuleihin on tehty muutoksia. Venymäliuskamittaukseen tarkoitettu erikoismoduuli on vaihdettu tavalliseen kaksikanavaiseen analogiatulomoduuliin. Logiikkayksikössä en havainnut muita muutoksia, kuin että siihen on lisätty hätä-seis-painikkeita.

6.4 Jälkimädätysaltaan ryhmäkeskus RK3

Mädätysaltaan ryhmäkeskuksella hoidetaan mädätysaltaan sekoittajan ja poistopumpun ja mädätysaltaan automaatiojärjestelmän laitteiden jännitteen jakelu. Keskuksen vahvavirtapuolelle on tehty vain hyvin vähän muutoksia. Keskuksen viereen on lisätty kolmivaihepistorasia, sekoittajan moottori on vaihdettu, pistorasiaryhmä on otettu salaojapumppu käyttöön ja saattolämmityslähtöön on kytketty kaasuputken saattolämmitys. Automaatiopuolella en havainnut muutoksia. Ainoastaan I/O -luettelosta puuttui hätä-seis-painikkeet ja hätä-seis-tieto sekä kaasumäärämittaus.

7 LOPPUTULOSTEN DOKUMENTOINTI

Opinnäytettyöhön liitettiin myös havaittujen muutosten dokumentointi. Dokumentoitua työllisesti huomattavasti se, että Metaenergialla työskennellyt biokaasulaitoksen suunnittelija on lähtenyt yrityksestä ja vienyt sähköisessä muodossa olevat kuvat mennessään, joten muutoksia vaativat kuvat oli piirrettävä alusta asti uudelleen. Muutoksia valitettavasti oli hyvin monessa kuvassa, eli työtä riitti.

Piirrettävät kuvat olivat suurimmalta osalta piirikaavioita, joka on yksi sähkötekniikan yleisimmistä piirustustavoista. Piirikaavion avulla voidaan kuvata ja ymmärtää laitteen toiminta komponenttitasolla. Piirikaaviolla kuvataan komponenttien kytkennän toisiinsa piirrosmerkkien ja niiden välillä kulkevien viivojen avulla. Sähköpiirustusten ja kaavioiden piirrosmerkit ja piirustustavat ovat hyvin standardoituja, jotta niitä niiden tulkinta on yksiselitteistä. Suomessa sähköalan standardoinista vastaa Suomen standardoimisliitto SFS, joka on ulkoistanut toiminnan Suomen sähkötekniilliselle standardisoimisyhdistykselle eli SESKO:lle. Sähköalan standardit etenkin piirustuksia koskevat standardit pohjautuvat yhteiseurooppalaisen CENELEC:in laatimiin standardeihin, joten piirroksot ovat samanlaiset valtaosassa Eurooppaa. Amerikkalaisilla ovat omat ANSI -standardinsa, jotka poikkeavat huomattavasti Eurooppalaisista standardeista.

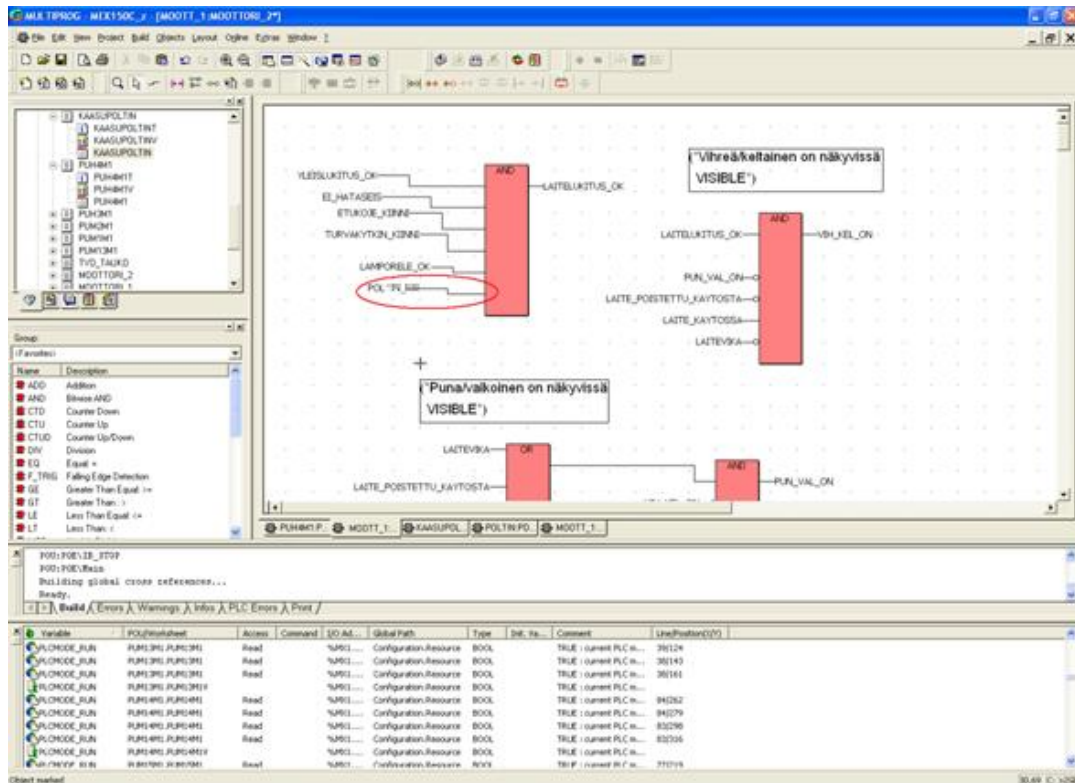
Suomessa sähköalan standardit pohjautuvat pääasiassa maailmanlaajuisiin International Electrotechnical Commission (IEC) ja yhteiseurooppalaisiin CENELEC (EN) standardeihin, niin myös dokumentointiin liittävät standardoinnit Suomessa vaaditaan SFS 6000/IEC 60364 -standardin nojalla noudattamaan sähköalan piirustuksissa maailmanlaajuisen ja yhteiseurooppalaisen IEC/EN 60204-1 -standardin määräystä standardoitujen piirrosmerkkien ja piirrostapojen käyttämisestä. IEC/EN 60204-1 -standardin hyväksymät piirrosmerkit on standardoitu IEC 60617 -standardissa. Standardoituja IEC 60617 piirrosmerkkejä käytetään sähköpiirustuksissa ja kaavioissa. Suomessa on ratifioitu dokumentointistandardi IEC 61082-1, jossa esitetään yleiset

laadintaperiaatteet sähkötekniikassa käytettäville dokumenteille, kuten asennuspiirustukset, piirikaaviot, kytkentäkaavio jne. Lisäksi Sähkölaitteissa ja dokumentoinnissa käytetyt viitetunnukset on määritelty standardeissa. Viitetunnusstandardiin perustuvat kaikki standardoidut tunnussovellukset, joita muun muassa ovat IEC 61666 liittimien tunnuksset, IEC 61175 signaalien tunnuksset ja IEC 62491 kaapeleiden ja eristettyjen johtimien tunnuksset.(SESKO 20014; Antti Sirviö 2012; Sähköala 2014)

Suomen standardoimisliitto SFS on julkaissut koostetut käsikirjat sähkötekniikan dokumentointia koskevista standardeista. Kirjat ovat nimeltään SFS-käsikirja 616 Tekninen dokumentointi ja SFS-eKäsikirja 317 Sähkökaavioissa käytettävät piirrosmerkit.

Piirtämisen suoritin Kymdatan CADS Planner - ohjelmalla. Kuvien laatiminen oli lähinnä mekaanista työskentelyä. Kuvan piirtäminen aloitettiin piirtämällä alkuperäisen mukainen kuva, johon piirsin tarvittavat muutokset. Valmiit kuvat toimitin työn tilaajalle sekä mappiin, joka minulle annettiin työtäni helpoittamaan. Piirtämäni kuvat tallensin myös HAI:n ohjelmointitietokoneelle pdf- ja drw -tiedostomuodossa. I/O-, laite- ja kaapeliluettelot näin järkevimmäksi laatia Excel -taulukkolaskentaohjelmalla.

Dokumentaatiota tehdessä tulee kiinnittää suurta huolellisuutta, että saa kaikki dokumentaation osa-alueet päivitettyä toisiaan vastaaviksi. Piirikaavioissa esitetyjen kaapelitunnusten ja -tyyppien tulee vastata kaapeliluetteloa. Tulee myös olla tarkkana piirikaavioissa esitettävien ohjelmoitavien logiikoiden I/O -yksiköiden kytkentäpisteiden kanssa. Tässä työssä selvitin ensin I/O -luettelon, jonka perusteella kykenin varmistamaan piirikaavioihin oikeat kytkentäpisteet.

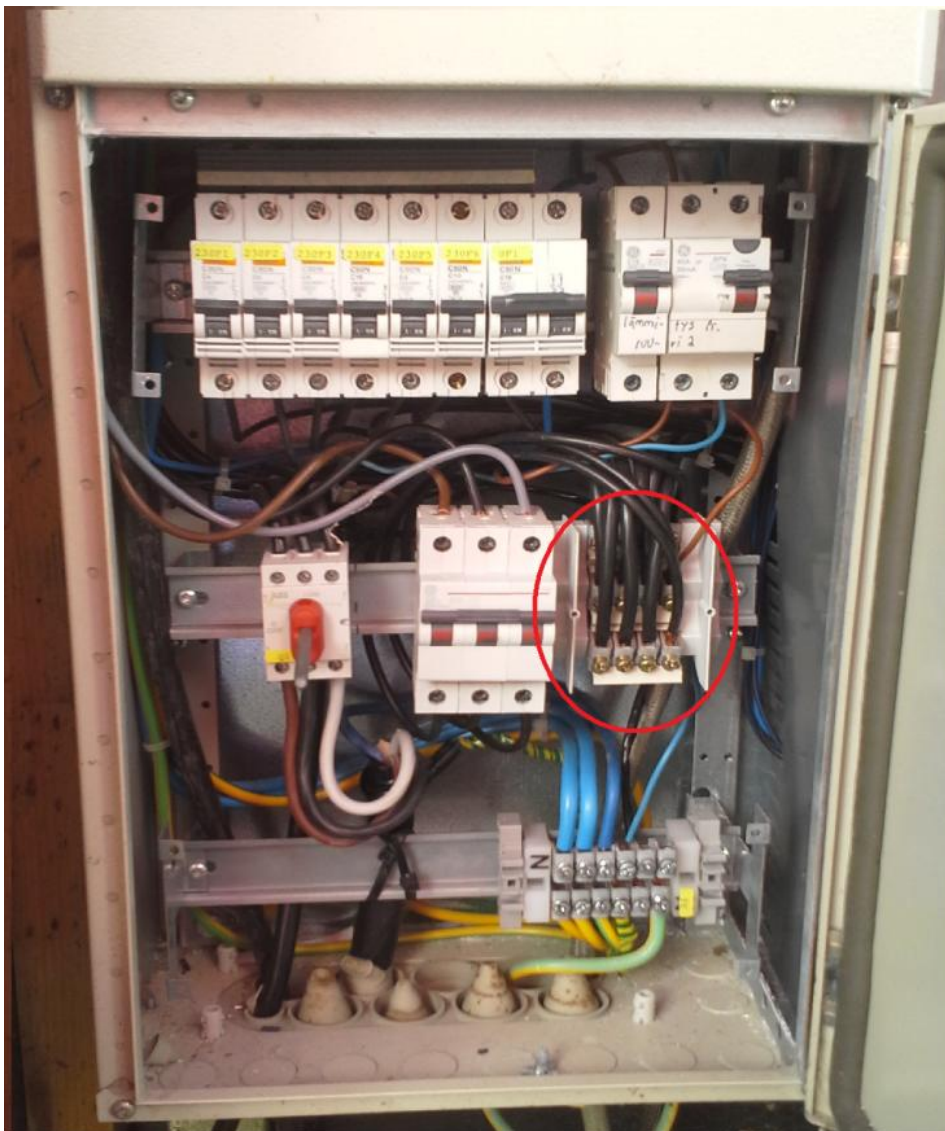


KUVIO 19. Ohjelmamuutos

Ohjelmoinnin suoritin HAI:n kannettavalla tietokoneella, jolla oli lisenssi Phoenix Contactin laitteiden ohjelmointiin soveltuvaan KW -Software Multiprog -ohjelmistoon, joka on Phoenix Contactin PC WORX -ohjelmiston esiaste. Ohjelmaa tutkittuani koin loogisimmaksi ratkaisuksi korjata ohjelman virhe lisätä ehto puhaltimen käynnistymiselle. Edellä esitetyssä kuvasta näkyy, kuinka käynnistymisehto on toteutettu. Puhaltimen laitelukitukseen lisättiin ehto, että kaasupoltin ei saa olla häiriössä, jotta kaasun paineenkorotuspuhaltimen käynnistyminen sallitaan. Nyt kun poltin menee häriötilaan ja pysähtyy, ei enää täyty paineenkorotuspuhaltimen laitelukituksen ehdot, joka johtaa puhaltimen välittömään pysäyttämiseen. Muutoksen tallennukselle loin uuden kansion nimeltä Boostermuutos_8.4.2014, jonka sijoitin samaan kansioon muiden ohjelmaversioiden kanssa. Kansista ohjelma on ajettavissa logiikalle suraavan seisakin aikana.

8 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA PARANNUSEHDOTUKSIA

Seuraavaksi käsittelen havaintojani, joita tein selvittäessäni sähkö- ja automaatiojärjestelmien nykytilaa. Otan esille epäkohtia ja pohdin niihin ratkaisuja. Osa ratkaisuista on vain ehdotuksia, jotka helpottavat toimintaa ja osa tulisi ensi tilassa toteuttaa. Ensi tilassa tulisi varustaa ryhmäkeskukseen RK2 liitetty keskuksen viereen asennettu 32 A kolmivaihepistorasia vikavirtasuojakytkimellä, kuten pienjännitesähköasennusten turvallisuutta koskeva standardi SFS 6000-411.3.3 vaatii. Samaisen ryhmäkeskuksen pääkytkimen kennoon olisi todella suotavaa asentaa suojaplexi, sillä nyt kennon saa auki ilman erillistä avainta ja kennossa on esillä vaarallisia paljaita jännitteisiä osia. Kenno sisältää johdonsuojakatkaisijoita, joita voivat myös maallikot käydä palauttamassa. Kuvioon 20 on merkittu kyseinen vaaranpaikka. Ongelma voidaan ratkaista asentamalla joko plexi, jolla peitetään vain jännitten jakokiskot tai plexi, jolla peitetään kaikki paitsi johdonsuojakatkaisijoiden ja vikavirtasuojakytkimien käyttökytkimet. (SFS-Käsikirja 600)



KUVIO 20. Ryhmäkeskuksen RK2 puutteellinen kosketussuojaus

Tulevaisuuden kannalta olisi tärkeää, että sähködokumentit arkistoitaisiin asian mukaisesti ja selkeästi. Jokaiselle keskukselle tarvitaan oma mappi, jonne sisällytetään kaikki keskukuvat, keskuksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien kuvat sekä mahdolliset asemapiirrokset ja sijoituskuvat. Lisäksi mappii tulee sijoittaa keskuksen liitettyjen laitteiden käyttöohjeet. On myös ensiarvoisen tärkeää pitää dokumentaatio jatkuvasti ajan tasalla. Kun tehdään muutoksia se dokumentoidaan heti. Tällöin vältetään tämän työn aikaansaaneelta tilanteelta. Suosittelen, että HAI hankkii tähän projektiin jonkin sähkösuunnitteluun soveltuvan ohjelmiston, jolloin projektiin palkattu henkilöstö voisi jatkossa itse piirtää kuvat tehtyään muutoksia. Keskuksista ei ollut piirretty keskuskaavioita, jotka mielestäni ovat keskuksen yksi tärkeimpiä piirustuksia. Siitä

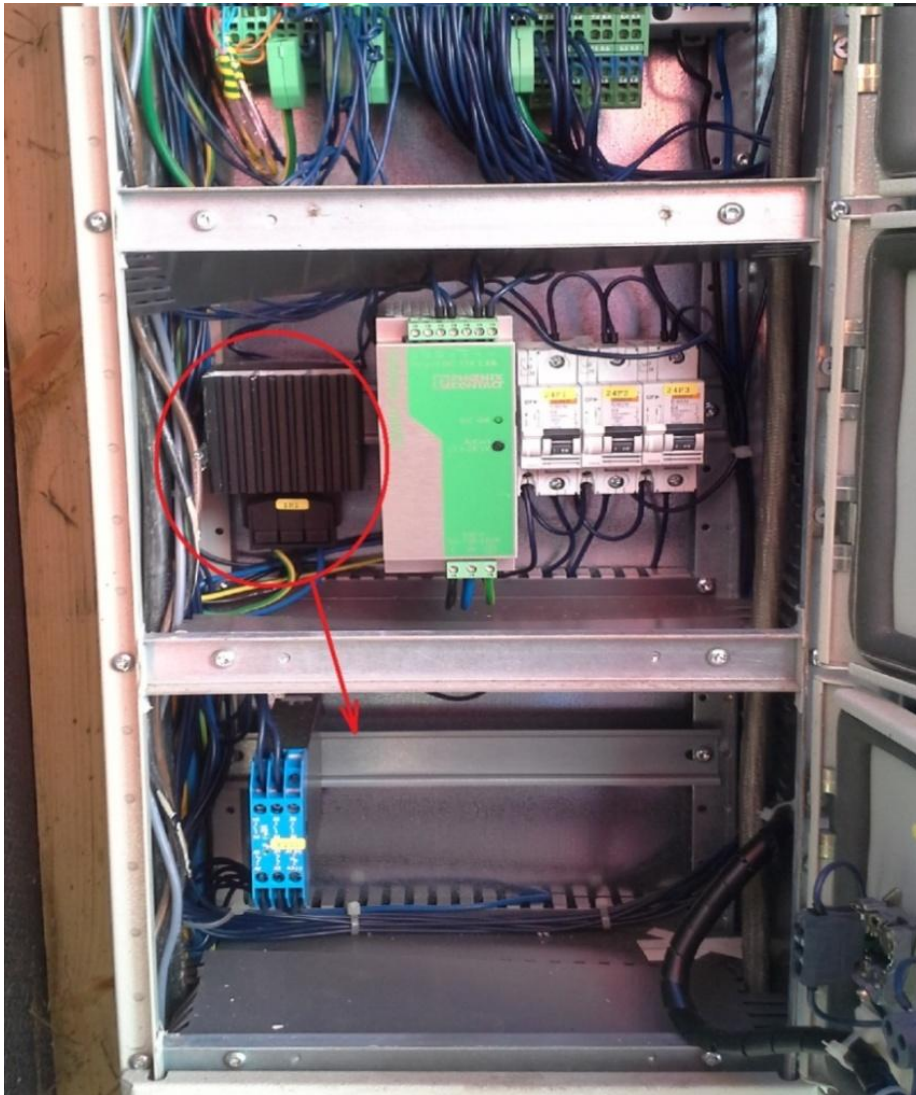
ilmenee kaikki keskeinen tieto keskuksista yhdessä dokumentissa. Nyt tiedot joutuu etsimään erillisistä piirikaavioista.

Järjestelmään tutustuessani huomioni kiinnittyi siihen, että pistorasioissa, turvakytkimissä ja mittalaitteissa ei ollut merkintöjä laitteen positiosta eikä sitä syöttävästä sulakkeesta. Tämä laitteiden merkitsemättömyys hankaloittaa ja hidastaa työskentelyä, ja näin kävi minullekin. Merkitsemisellä luodaan käyttömukavuutta ja turvallisuutta, ei tarvitse etsiä sulakkeita. Lisäksi keskuksien sisälle lisätyt komponentit on syytä merkitä. Suosittelen myös merkitsemään logiikoiden virransyöttölaitteisiin niitä syöttävä sulake. Suosittelen myös poistamaan keskuksista vanhat käytöstä poistetut laitteet ja johtimet. Tällä luodaan selkeyttä keskuksiin. Lisäksi keskuksista on korjattava niin kutsutut väliaikaiset ratkaisut ja niiden käyttöä tulisi jatkossa välttää. Johtimet tulee haaroittaa ja tarvittaessa jatkaa riviliittimin, ei kytkentärimalla tai muulla vastaavalla eikä missään nimessä vain kitomalla johtimia toistensa ympärille.

Logiikkaohjelmasta on korjattava edellä mainittu kaasun korotuspuhaltimeen liittyvä virhe. Virheen korjaaminen sisällytettiin tähän opinnäytetyöhön. Ohjelmamuutos tallennetaan HAI:n ohjelmointitietokoneelle, josta se voidaan ajaa logiikalle seuraavan laitoksen seisakin aikana. Tutkiessani ohjelmaa havaitsin ohjelmassa jäänteitä vanhoista koodin pätkistä, jotka eivät ole enää käytössä. On suotavaa, että ohjelmaan perehtynyt henkilö käy läpi ja siivoaa nämä jäänteet sotkemasta ohjelmaa. Logiikkaan liitetyistä mittalaitteista jälkimädätysaltaan kaasumäärämittaus ja kattilan energiamittaus eivät toimi. Nämä laitteet eivät ole prosessin kannalta välttämättömiä, mutta ivestoidut ja asennetut laitteet kannattaa laittaa kuntoon.

Ryhmäkeskuksien RK2 ja RK3 logiikkayksiköt on suunniteltu varustaa UPS -yksiköillä vain kesäisin, jotta pakkaneen ei tuhoaisi akkua. Kyseisiä keskuksia tutkiessani mietin tähän mahdollisia toteutustapoja. Mielestäni seuraava olisi helpoin ja järkevin toteutuskeino. Kuvassa 21 näkyvä musta lämmitysvastus siirrettäisiin alemmaksi hätä-seis-releen viereen. Tällöin tulisi kennojen välissä olevaa muovilevyä leikata, jotta lämpö pääsisi tehokkaasti nousemaan logiikalle. Kun vastus on siirretty, syntyy virtalähteen viereen UPS -yksikölle riittävästi tilaa. Tällöin johdotus voidaan tehdä suoraan kohteisiin, eikä tarvitse lisätä

erillisiä johdotuksia ja riviliittimiä.



KUVIO 21. Esitykseni UPS -yksikkömuutosta varten ryhmäkeskuksissa RK2 ja RK3.

LÄHTEET

Aalto yliopisto. 2011. Automaation toteutusvaihtoehdot. Www –dokumentti. Saatavilla: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-c1210/materiaali/ELEC-C1210_4._automaation_toteutusvaihtoehdot._automaation.pdf. Luettu 11.3.2014

Biokaasufoorumi. 2014. Saatavilla: <http://www.biokaasufoorumi.fi>. Luettu 2.3.2014.

Biokaasuyhdistys. 2014. Saatavilla: <http://www.biokaasuyhdistys.net>. Luettu 2.3.2014.

Bioste. 2014. Biokaasu. Saatavilla: http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=10. Luettu 28.2.2014.

Heinonen Ilkka. 2010. Maatalouden sivuvirtojen hyödyntämisen haasteet.

Heiskanen Harri. 2012. Uusiutuvien energiamuotojen tutkimusjohtaja-hanke

Lampinen Ari. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. Dimensio 3, 4-9.

Latvala Markus. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Edita Prima Oy.

Motiva. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf. Luettu 2.3.2014.

Motiva. 2014a. Biokaasu. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu. Luettu 1.3.2014.

Motiva. 2014b. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja. Luettu 23.3.2014.

Oulun seudun ammattikorkeakoulu. 2009. Automaatiotekniikka I. Www –dokumentti. Saatavilla: http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2006u.htm. Luettu 9.3.2014.

Peltola Jukka. 2010. Tiedonsiirto – Kenttäväylät ja OPC. Www –dokumentti. Saatavilla: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116_1100_luentokalvot.1100_s10_kenttavaylat_ja_opc_web.pdf Luettu 23.3.2014.

Peltola Jukka. 2013. Tiedonsiirto – Kenttäväylät. Www –dokumentti. Saatavilla: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-c1210/luennot/ELEC-C1210_luentokalvot.1501_automaatio_1_s13_tiedonsiirto_ja_kenttavaylat.pdf. Luettu 15.3.2014

Phoenix Contact. 2014a. Saatavilla: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi>. Luettu 3.3.2014.

Phoenix Contact. 2014b. Inter Bus. Saatavilla: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?ldmy&urile=wcm:path:/fifi/web/main/products/subcategory_pages/interbus_p-04-11/a20f6e69-4460-457b-9267-2aea300acd7c. Luettu 4.3.2014.

Raimovaara Markku. 2004. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä.

SESKO. 2014. Sähkötekniinen standardointi. Suomen sähköteknillinen standardisoimisyhdistys ry SESKO. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sesko.fi>. Luettu 29.3.2014.

SFS-Käsikirja 600. 2012. Pienjännitesähköasennukset ja sähköturvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry

Sirviö Antti. 2012. Sähkölaitteiden ja sähkölaitteistojen standardien mukainen dokumentointi.

Sähköala. 2014. Sähkötekniinen standardointi. Www-dokumentti. saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi_FI/standardit/ Luettu 1.4.2014.